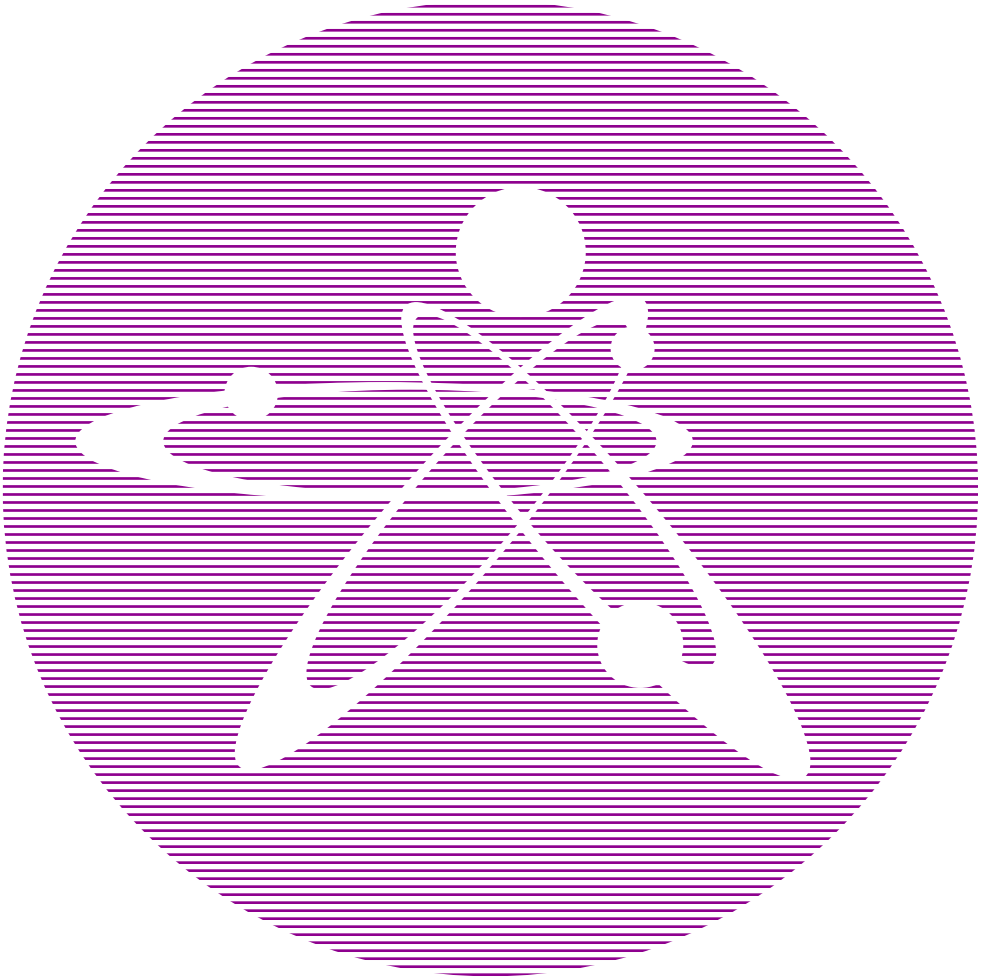
2022
ВЫПУСК 1
ISSN 1729-7516

ВЕСТНИК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 1(89), МАРТ 2022

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – д.ф.-м.н., профессор БАТЫРБЕКОВ Э.Г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.ф.-м.н. СКАКОВ М.К. – **заместитель главного редактора,**
к.б.н. АЙДАРХАНОВ А.О., д.ф.-м.н. БУРТЕБАЕВ Н.Т., д.т.н. ВИЕЛЕБА В. (Польша), к.ф.-м.н. ВИТЮК В.А.,
к.ф.-м.н. ВУРИМ А.Д., д.т.н. ГРАДОБОЕВ А.В. (Россия), д.ф.-м.н. КОПНИЧЕВ Ю.Ф. (Россия),
д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., д.ф.-м.н. СОКОЛОВА И.Н., д.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.,
д.ф.-м.н. ТАЖИБАЕВА И.Л., Prof. Dr. Yoichi FUJII-E (Япония), PhD Takahiro HAYASHI (Япония)

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

1(89) ШЫҒАРЫМ, НАУРЫЗ, 2022 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

RESEARCH AND TECHNOLOGY REVIEW
NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSUE 1(89), MARCH 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕСТИРОВАНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИХ ЗОН ПО ГЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА
А.Б. Садыкова, Г.Я. Хачикян 3

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И СЕЙСМОТЕКТОНИКА РАЙОНА СИП ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
А.Е. Великанов 13

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И АВТОМАТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА «EAGLE»
С.А. Ильиных, А.В. Сысалетин, В.А. Ермаков, А.Б. Кудранова, Р.Ж. Наурызбаев, Р.С. Исламов 22

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА ПО ЗАПИСЯМ ПРИБОРОВ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА
Н.Н. Михайлова, А.Н. Соколов, И.Н. Соколова 28

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДОЗИМЕТРИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА НА АЛАНИНЕ ДЛЯ ИЛУ-10 ИЯФ РК
Ж.Т. Мукан, Т.А. Середавина, Н.С. Сушкова, И.В. Данько, Н.В. Глущенко 36

ENVIRONMENTAL STATE OF SURFACE WATERS AND BOTTOM SEDIMENTS IN WATER BODIES OF THE SOUTHWESTERN PART OF THE ALTAI TERRITORY
O.Yu. Korovina, V.A. Somin 43

СПИСОК АВТОРОВ 46

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-3-12
УДК 550.34

ТЕСТИРОВАНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИХ ЗОН ПО ГЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

А.Б. Садыкова, Г.Я. Хачикян

Институт сейсмологии, Алматы, Казахстан

E-mail для контактов: galina.khachikyan@gmail.com

На нескольких территориях Восточно-Казахстанской области (Усть-Каменогорск, Семипалатинск, объект «Ульба», Зайсан) протестирован метод расчета сейсмического потенциала (максимально возможной магнитуды землетрясения) по геомагнитным данным: значениям геомагнитной Z-компоненты, рассчитанной в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат (GSM). Оценки сейсмопотенциала по геомагнитным данным сравнивались с данными о потенциале сейсмогенерирующих зон на территории Восточно-Казахстанской области, полученным по сейсмологическим, геолого-геофизическим данным и результатам дешифрирования космоснимков. Получено удовлетворительное согласие между оценками двумя разными способами, что подтверждает возможность применения альтернативного метода оценки сейсмопотенциала в регионах с дефицитом информации о режиме сейсмичности (возможно, находящихся в режиме временного сейсмического затишья).

Ключевые слова: *максимально возможная магнитуда землетрясений, геомагнитное поле, землетрясения, сейсмический потенциал, Восточный Казахстан.*

Введение

В последнее десятилетие 20 века в солнечной-земной физике появился новый для того времени термин «космическая погода», характеризующий изменения на Солнце, в межпланетном магнитном поле, магнитосфере, ионосфере, геомагнитном поле, которые могут оказывать влияние на работу бортовых и наземных технологических систем, на состояние различных геосфер, а также угрожать здоровью обитателей планеты [1]. Одновременно, исследование верхних геосфер показало, что их состояние зависит не только от процессов на Солнце и в межпланетной среде, но и от естественных и техногенных процессов в литосфере, например [2, 3]. Научные результаты, полученные в этих направлениях, создали основу для введения в солнечно-земную физику еще одного нового термина – «лито-космическая погода» по инициативе профессора K. Yumoto (Япония), и в 2011 г. в Африке была проведена первая международная школа по вопросам лито-космической погоды с выпуском сборника избранных статей [4].

Одним из главных вопросов лито-космической погоды является вопрос о связи между вариациями солнечной и сейсмической активности, который пока является дискуссионным [5]. Физический механизм воздействия довольно слабых полей космического происхождения на мощные тектонические процессы пока не понятен; трудности решения этого вопроса обсуждались в недавней работе [6]. Не решена еще до конца и проблема взаимодействия различных геосфер и геофизических полей, хотя, как отмечено в [7]: «В целом, Земля со всеми геосферами и геофизическими полями представляет собой единую динамическую систему, элементы которой не могут существовать независимо и вынуждены взаимодействовать между собой, обмениваясь массой и энергией». Полученные к настоящему времени результаты статистических исследований демонстрируют соответствие между вариациями характеристик различных геосфер, в том числе, в связи с вариациями солнечной активности [6–18 и ссылки внутри].

Наиболее ярким проявлением воздействия солнечной активности на Землю являются геомагнитные бури – возмущения геомагнитного поля длительностью от нескольких часов до нескольких суток. Согласно современным взглядам, непосредственной причиной геомагнитных бурь являются возмущённые потоки солнечного ветра на орбите Земли, источниками которых, в свою очередь, являются выбросы солнечной корональной массы и корональные дыры [19]. На вопрос о возможном влиянии геомагнитных бурь на сейсмическую активность пока не получено однозначного ответа, хотя он тоже изучается не одно десятилетие. Основное количество геомагнитных бурь (особенно сильных) начинается с внезапного начала – SSC (Storm Sudden Commencement), связанного с поджатием дневной магнитосферы магнитогидродинамической ударной волной солнечного ветра, что приводит к резкому увеличению горизонтальной компоненты геомагнитного поля почти одновременно на всей Земле. Исследования [11-13] показали, что отклик сейсмической активности может запаздывать относительно SSC на несколько суток (от 2 до 7), а характер отклика может изменяться в зависимости от тектонического строения региона. На территориях, которые подстилаются породами с низкоомным электрическим сопротивлением, наблюдается повышение сейсмической активности через несколько суток после начала геомагнитной бури (положительный эффект), а на территориях, подстилаемых высокоомными породами – сейсмическая активность уменьшается (отрицательный эффект).

В то же время, в работе [20] исследовался отклик глобальной сейсмичности непосредственно на вне-

запное начало бури (в промежутке времени ±60 минут относительно SSC). Показано, что до момента SSC количество землетрясений на планете было больше, чем после. Сделано предположение, что поджатие магнитосферы и усиление токов Чепмена-Ферраро на магнитопаузе, обусловленное приходом ударной волны солнечного ветра, порождающей SSC, подавляет глобальную сейсмичность, и что воздействие внешних факторов на сейсмический режим Земли может быть практически мгновенным, не зависящим от тектонических условий в разных сейсмоактивных регионах, поскольку результат получен по данным о глобальной сейсмической активности.

Отдельные геомагнитные бури могут вызвать драматические изменения в структуре радиационного пояса Земли [21], заключающиеся в том, что во время геомагнитной бури может опустошаться внешняя электронная часть радиационного пояса и формироваться новый (дополнительный) пояс высокоэнергичных электронов в нижней магнитосфере вокруг определенных геомагнитных силовых линий. В работе [18] показано, что спустя примерно 2 месяца после начала геомагнитной бури с сопутствующим формированием дополнительного долгоживущего пояса высокоэнергичных заряженных частиц вокруг определенных геомагнитных линий, сейсмическая активность повышается в регионах, пронизанных этими линиями. Такие длительные по времени запаздывания сейсмического отклика на геомагнитную бурю говорят в пользу того, что воздействие космической энергии на сейсмичность может быть не триггерным, как сейчас в основном предполагают, поэтому требуется более расширенный поиск свидетельств о соответствии в вариациях космических и сейсмических параметров, чтобы понять механизм солнечно-литосферных связей.

В настоящее время известно, что необходимым условием для генерации геомагнитной бури является противоположная ориентация силовых линий магнитного поля солнечного ветра (межпланетного магнитного поля) относительно силовых линий магнитного поля Земли, что приводит к пересоединению магнитных линий межпланетного и геомагнитного полей [22] и поступлению энергии солнечного ветра в околоземное пространство. Процесс проникновения энергии солнечного ветра в околоземное пространство наилучшим образом отображается геоцентрической солнечно магнитосферной системе координат GSM (Geocentric Solar Magnetosphere coordinate system) [23]. Учитывая этот факт, возникла идея [24] проанализировать пространственные вариации характеристик глобальной сейсмичности не в общепринятой (географической) системе координат, а в системе GSM, которую используют при изучении процесса проникновения энергии солнечного ветра в околоземное пространство. Было обнаружено, что сейсмический потенциал территории (максимально возможная здесь магнитуда землетрясения M_{max}) может быть определен (в первом приближении) по максимально возможному на этой территории абсолютному значению геомагнитной Z-компоненты, рассчитанной в GSM системе координат. В данной статье мы приводим кратко алгоритм [24] для определения величины M_{max} по геомагнитным данным, и тестируем его работоспособность на территории Восточно-Казахстанской области.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ (В ПЕРВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ) СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПО ГЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

В геоцентрической солнечно магнитосферной системе координат GSM, ось X направлена от Земли к Солнцу, ось Z перпендикулярна оси X, но направлена так, что ось геомагнитного диполя постоянно находится в плоскости XOZ, а ось Y перпендикулярна оси геомагнитного диполя и дополняет систему до правой (рисунок 1).

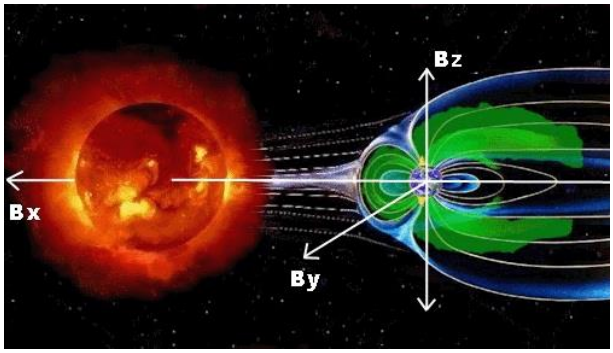


Рисунок 1. Схематический рисунок геоцентрической солнечно-магнитосферной системы координат (GSM)

Алгоритм преобразования географической системы координат в систему координат GSM приведен, например, в [25]. Из-за несовпадения оси геомагнитного диполя с осью вращения Земли, а также из-за суточного вращения Земли вокруг своей оси и сезонного движения по орбите вокруг Солнца, геомагнитные GSM компоненты (X_{GSM}, Y_{GSM} и Z_{GSM}) изменяются не только в пространстве, но и во времени, показывая ярко выраженные суточные и сезонные вариации, что, для примера, демонстрирует рисунок 2.

В [24] были определены значения геомагнитной Z_{GSM}-компоненты в эпицентрах всех землетрясений с $M \geq 4{,}5$, произошедших на планете в 1973–2010 гг. (173477 событий) и построены гистограммы распределения числа землетрясений и их магнитуд в зависимости от значений геомагнитных параметров в эпицентре в момент сейсмического события (рисунки 3, 4, соответственно). Для расчетов использовался глобальный сейсмологический каталог USGS [26], международная справочная модель главного геомагнитного поля IGRF [27] и технология расчета геомагнитных координат в GSM-системе координат в каждом эпицентре, разработанная в [28] на основе компьютерных кодов программы GEOPACK [29]. Рисунок 3 показывает, что на планете наибольшее коли-

чество землетрясений с M≥4,5 происходит в регионах с большими положительными значениями геомагнитной Z_{GSM}-компоненты.

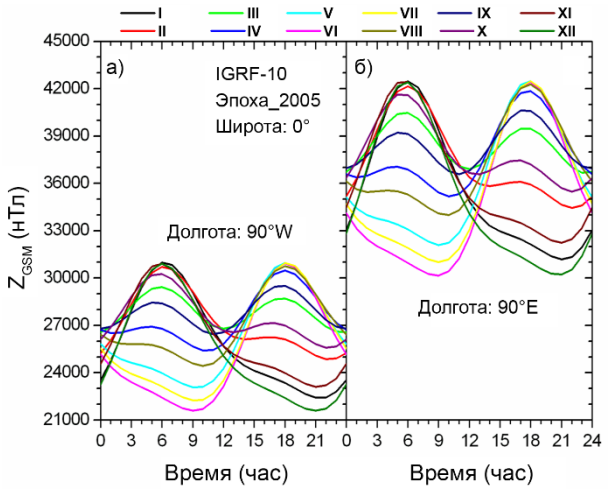


Рисунок 2. Сезонно-суточные вариации геомагнитной Z_{GSM}-компоненты на экваторе на долготах 90° W и 90° E, где по горизонтальной оси указано время на Гринвичском меридиане, а на вертикальной – значения Z_{GSM}, как получено в работе [24]

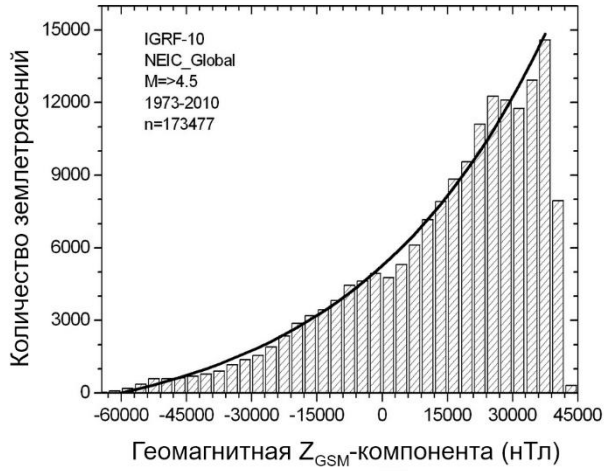


Рисунок 3. Гистограмма распределения числа землетрясений с M≥4,5, произошедших на планете в 1973–2010 гг., в зависимости от значения геомагнитной Z_{GSM}-компоненты в эпицентре во время сейсмического события, как получено в работе [24]

На рисунке 4 представлено распределение магнитуд землетрясений в зависимости от логарифма абсолютного значения геомагнитной Z_{GSM}-компоненты в эпицентре во время сейсмического события из работы [24]. На рисунке черная ломаная линия (огибающая) соединяет максимальные значения магнитуд (M_{max}) в последовательных бинах (log[abs(Z_{GSM})]) размером 0,15. Красная прямая есть линейная аппроксимация огибающей в виде:

$$M_{max}=a+b\{\mathrm{Log}[\mathrm{abs}(Z_{GSM})\}, \qquad (1)$$

где a=5,22±0,17, b=0,78±0,06, с коэффициентом детерминации R^2=0,83, и вероятностью 0,95%.

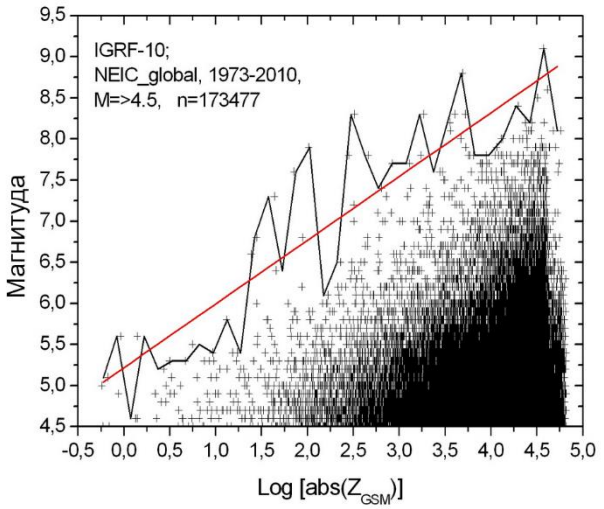


Рисунок 4. Распределение магнитуд землетрясений с M≥4,5, произошедших на планете в 1973–2010 гг., в зависимости от логарифма абсолютного значения геомагнитной Z_{GSM}-компоненты в эпицентре во время сейсмического события, как получено в работе [24]

В работе [30] были уточнены коэффициенты регрессионного уравнения (1) для локальной сейсмоактивной территории Северного Тянь-Шаня, ограниченной координатами 42,83° N – 43,5° N, 76° E – 78° E, где в недалеком прошлом произошли сильнейшие в регионе землетрясения: Верненское 1887 г. с M=7,3 и Кеминское 1911 г. с M=8,2. Использовался региональный каталог землетрясений с энергетическим классом K≥7,0 за 1970–2010 гг. (1061 событие). На рисунке 5 представлено распределение энергетического класса этих землетрясений в зависимости от параметра {Log[abs(Z_{GSM})}.

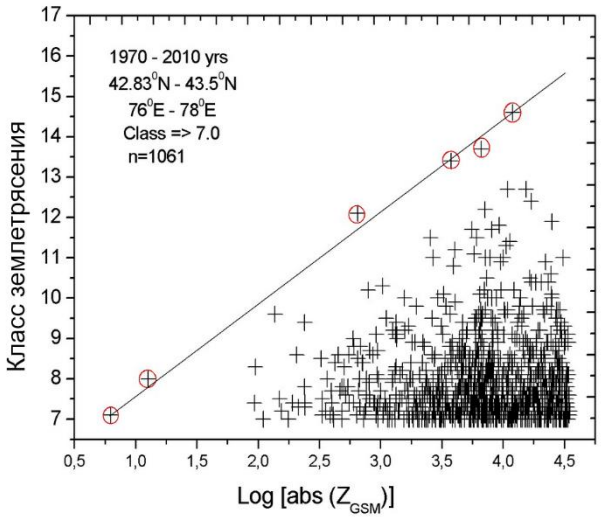


Рисунок 5. Распределение энергетического класса землетрясений с K≥7,0, произошедших в 1970–2010 гг. на территории Северного Тянь-Шаня, ограниченной с координатами 42,83° N – 43,5° N, 76° E – 78° E (1061 событие) в зависимости от значения параметра {Log[abs(Z_{GSM})} в эпицентре во время землетрясения, как получено в работе [30]

Видна идентичность в характере распределения энергетических характеристик землетрясений в зависимости от параметра {Log[abs(Z_{GSM})}, как для планеты в целом (рисунок 4), так и для локальной территории (рисунок 5). Конечно, при высоких значениях параметра {Log[abs(Z_{GSM})} могут возникать землетрясения разных классов, но максимально возможные энергетические классы (обведены красными кругами) показывают достаточно четкую линейную зависимость от величины этого параметра. Прямая линия на рисунке 5 есть линейная аппроксимация максимально возможных значений K, которая имеет вид:

$$K_{max} = (5{,}4\pm0{,}13)+(2{,}46\pm0{,}05)\{\mathrm{Log[abs}(Z_{GSM})]\}, \quad (2)$$

с коэффициентом детерминации R2=0,998, среднеквадратическим отклонением SD=0,01, с вероятностью P=0,95.

В работе [31] получено соотношение между энергетическим классом землетрясения K и локальной магнитудой M_L в виде:

$$K=1{,}8M_L+4{,}0. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), можно получить соотношение для расчета максимально возможной локальной магнитуды землетрясения (M_{Lmax}) в зависимости от параметра {Log[abs(Z_{GSM})]}:

$$M_{Lmax}=\{1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log[abs}(Z_{GSM})]\}/1{,}8. \quad (4)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ГЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

На рисунках 6, 7 приведены, соответственно, сезонно-суточные вариации геомагнитной Z_{GSM}-компоненты, и максимально возможных магнитуд землетрясений M_{Lmax} на территории г. Усть-Каменогорск с координатами 49,57° N, 82,73° E. Из рисунка 6 следует, что значения Z_{GSM} на этой территории всегда отрицательные. Это позволяет заключить, в соответствии с гистограммой на рисунке 3, что вероятность возникновения здесь землетрясений с магнитудой $M\geq4{,}5$ во много раз меньше по сравнению с регионами, где Z_{GSM} достигает больших положительных значений. В соответствии с эмпирически полученным соотношением (4), максимально возможная магнитуда землетрясения M_{Lmax} зависит от абсолютного значения Z_{GSM}, что приводит к двум вариантам расчета величины M_{Lmax}: для минимальных отрицательных значений Z_{GSM}, когда вероятность возникновения землетрясений еще достаточно высокая, и для максимальных отрицательных значений Z_{GSM}, когда вероятность возникновения землетрясений очень низкая, но их магнитуды могут быть высокими, как показывают наблюденные сейсмологические данные для всей планеты (рисунок 3). Приведенные на рисунке 6 данные говорят, что на территории г. Усть-Каменогорск минимальное отрицательное значение $Z_{GSM}=-4276$ нТл, а максимальное отрицательное значение $Z_{GSM}=-45825$ нТл. Тогда при расчете M_{Lmax} для территории г. Усть-Каменогорска получим:

вариант 1: $M_{Lmax} = \{1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log[abs}(Z_{GSM})]\}/1{,}8 = (1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log}\ 4276)/1{,}8 = 5{,}74,$

вариант 2: $M_{Lmax} = \{1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log[abs}(Z_{GSM})]\}/1{,}8 = (1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log}\ 45825)/1{,}8 = 7{,}15.$ (5)

Оценки сейсмопотенциала по геомагнитным данным (5) сравнивались с оценкой Институтом сейсмологии потенциала сейсмогенерирующих зон на территории Восточно-Казахстанской области по сейсмологическим, геолого-геофизическим данным и результатам дешифрирования космоснимков (рисунок 8). Представленная на рисунке 8 карта показывает, что территория г. Усть-Каменогорск расположена на стыке сейсмогенерирующих зон № 1 и № 2, и максимально возможная здесь магнитуда землетрясения может быть $M\leq6{,}0$, что хорошо поддерживает первый вариант расчетов (5), где получено $M_{Lmax}=5{,}74$. То есть, при расчете сейсмопотенциала альтернативным методом на территории г. Усть-Каменогоск, реализуется вариант 1 из соотношений (5), при котором вероятность возникновения землетрясений с $M\geq4{,}5$ на этой территории наиболее высокая.

Ранее в [32] уже был апробирован альтернативный метод расчета сейсмического потенциала (по геомагнитным данным) на территории размещения Банка НОУ МАГАТЭ на объекте «Ульба» с координатами 50°15′ N; 83°22′ E. Анализ сезонно-суточных вариаций геомагнитной Z_{GSM}-компоненты показал, что на этой территории значения Z_{GSM} всегда отрицательные, то есть, вероятность возникновения землетрясений с магнитудой $M\geq4{,}5$ достаточно низкая, как демонстрирует рисунок 3. На территории объекта «Ульба» минимальное отрицательное значение $Z_{GSM}=-8200$ нТл, а максимальное отрицательное значение $Z_{GSM}=-47391$ нТл. Расчеты M_{Lmax} для территории объекта «Ульба» показали:

вариант 1: $M_{Lmax} = \{1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log[abs}(Z_{GSM})]\}/1{,}8 = (1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log}\ 8200)/1{,}8 = 6{,}1,$

вариант 2: $M_{Lmax} = \{1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log[abs}(Z_{GSM})]\}/1{,}8 = (1{,}4+2{,}46\ \mathrm{Log}\ 47391)/1{,}8 = 7{,}2.$ (6)

Карта потенциала сейсмогенерирующих зон Восточно-Казахстанской области (рисунок 8) показывает, что максимально возможная магнитуда землетрясения на территории объекта «Ульба» (50°15′ N; 83°22′ E) равна ~6,0, что близко совпадает с первым вариантом альтернативной оценки максимально возможной магнитуды $M_{Lmax}=6{,}1$ в выражении (6). То есть, на этой территории также реализуется вариант 1, при котором вероятность возникновения землетрясений с $M\geq4{,}5$ еще достаточно высокая. Аналогичные расчеты величины M_{Lmax}, проведенные для территории г. Семипалатинск (50,43° N, 80,26° E) также показали, что здесь значения Z_{GSM} всегда отрицательные, что говорит об относительно спокойной сейсмической активности региона. Минимальное отрицательное значение $Z_{GSM}=-5649$ нТл, а максимальное

ное отрицательное значение Z_{GSM}=−46682 нТл, что приводит к следующим результатам расчета M_{Lmax} на территории г. Семипалатинск:

вариант 1: M_{Lmax} = {1,4+2,46 Log[abs(Z_{GSM})]}/1,8 =
= (1,4+2,46 Log 5649)/1,8 = 5,9,
вариант 2: M_{Lmax} = {1,4+2,46 Log[abs(Z_{GSM})]}/1,8 =
= (1,4+2,46 Log 46682)/1,8 = 7,16. (7)

То есть, при оценке сейсмопотенциала по геомагнитным данным на территории г. Семипалатинск тоже реализуется вариант 1, при котором, в соответствии с данными на рисунке 3, вероятность возникновения землетрясений с M≥4,5 в несколько раз выше, чем для варианта 2.

Противоположный результат получился при оценке по геомагнитным данным сейсмопотенциала на территории эпицентра Зайсанского землетрясения, произошедшего 14 июня 1990 г. в 12,79 час. по времени на Гринвичском меридиане с магнитудой M=6,6, координатами эпицентра 47,87° N, 85,08° E, на глубине 57 км. На этой территории значения Z_{GSM} тоже всегда отрицательные, что может говорить об относительно спокойной сейсмической активности региона. Здесь, минимальное отрицательное значение Z_{GSM} = −1301 нТл, а максимальное отрицательное значение Z_{GSM} = −43683 нТл, что приводит к следующим результатам расчета M_{Lmax} на территории эпицентра Зайсанского M=6,6 землетрясения:

вариант 1: M_{Lmax} = {1,4+2,46 Log[abs(Z_{GSM})]}/1,8 =
= (1,4+2,46 Log 1301)/1,8 = 5,03,
вариант 2: M_{Lmax} = {1,4+2,46 Log[abs(Z_{GSM})]}/1,8 =
= (1,4+2,46 Log 43683)/1,8 = 7,12. (8)

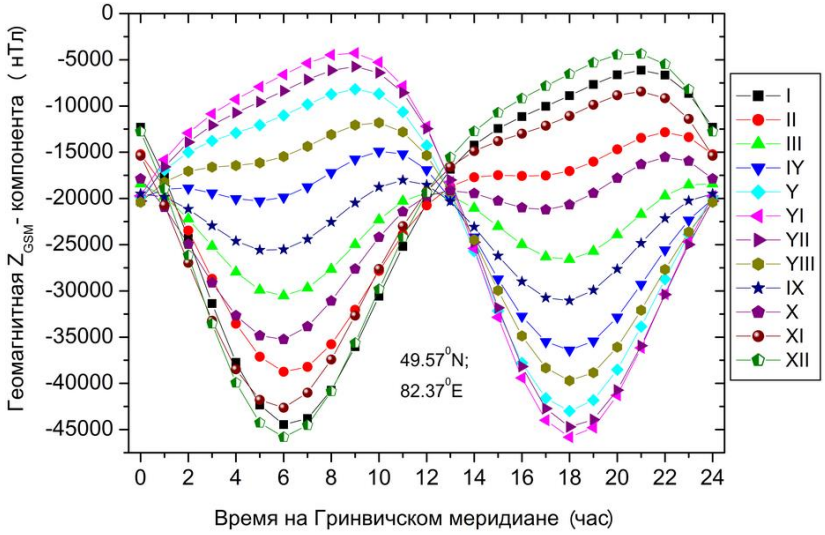


Рисунок 6. Сезонно-суточные вариации геомагнитной Z_{GSM}-компоненты на территории г. Усть-Каменогорск (49,57° N, 82,73° E)

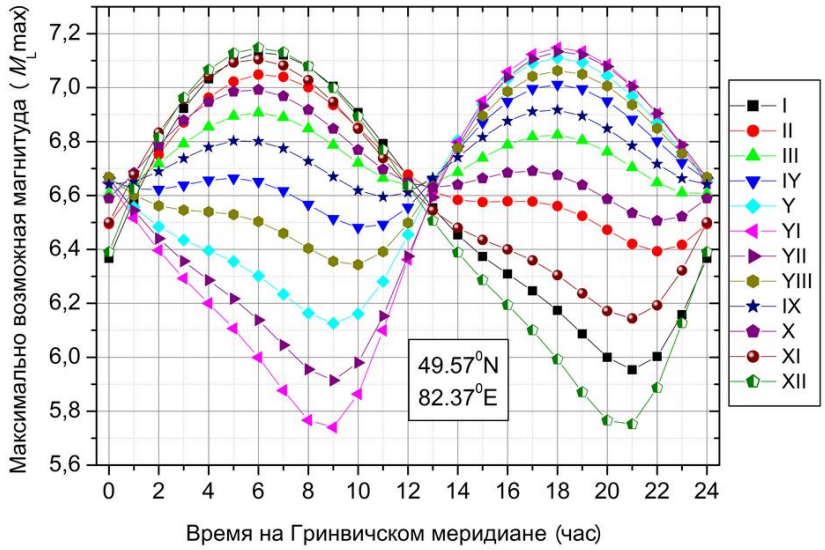


Рисунок 7. Сезонно-суточные вариации максимально возможной магнитуды землетрясений M_{Lmax} на территории г. Усть-Каменогорск (49,57° N, 82,73° E)

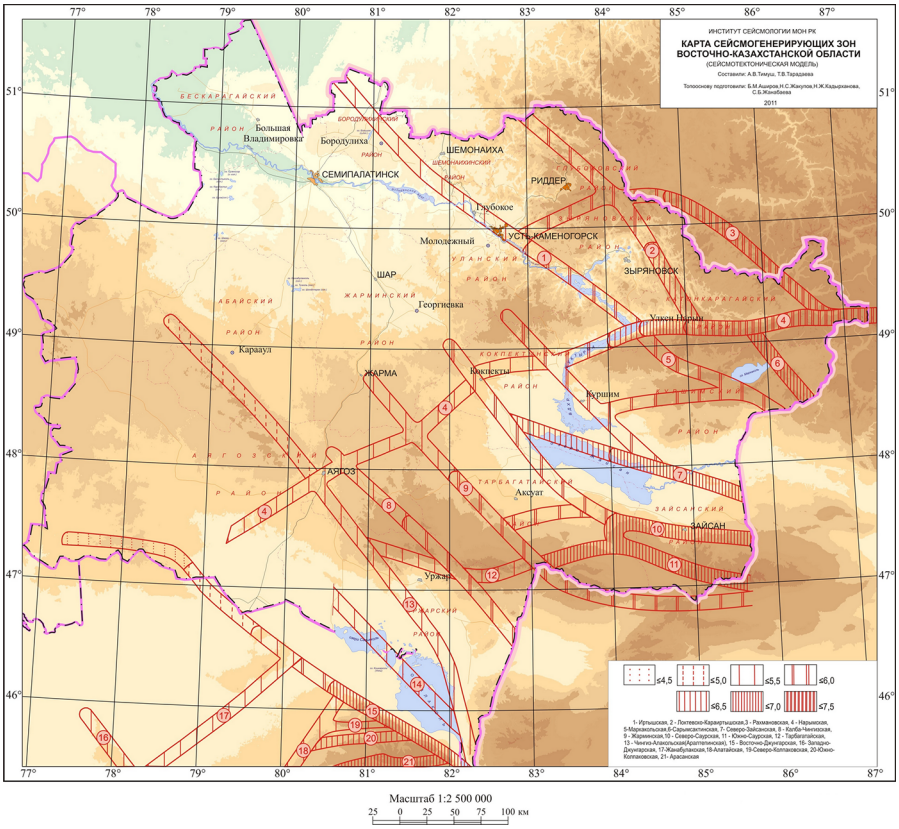


Рисунок 8. Карта потенциала сейсмогенерирующих зон (сейсмотектоническая модель) Восточно-Казахстанской области

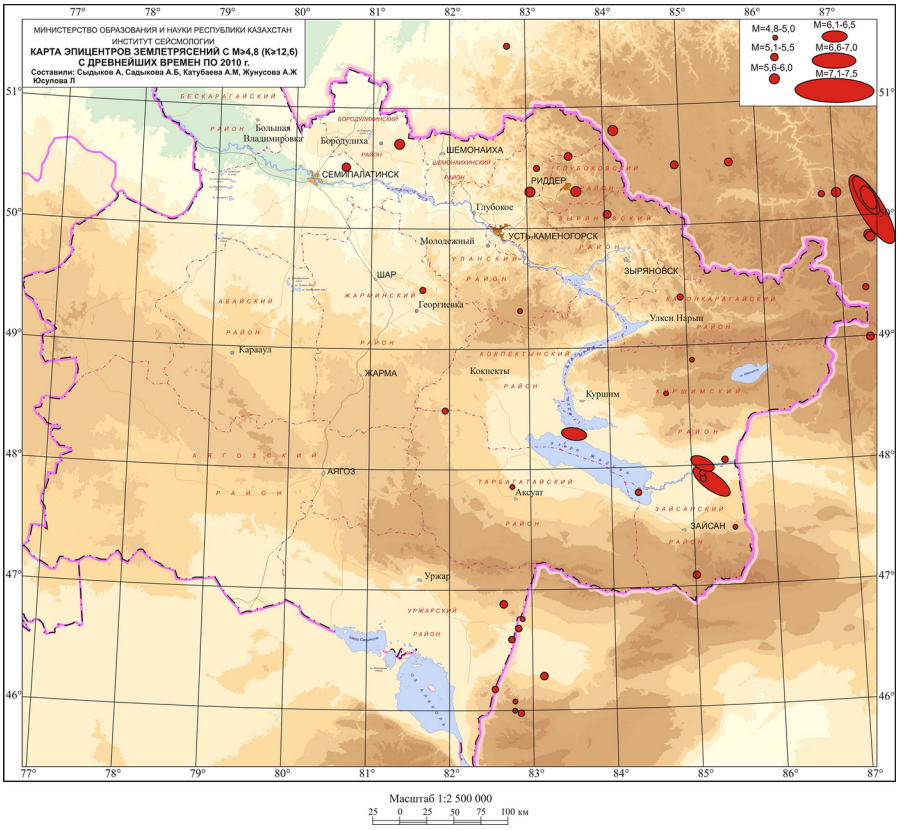


Рисунок 9. Карта эпицентров землетрясений с M≥4,8 (K≥12,6), произошедших на территории Восточно-Казахстанской области с древнейших времен по 2010 г.

Если вновь обратиться к рисунку 3, где приведена гистограмма распределения числа произошедших на планете землетрясений в зависимости от величины Z_{GSM}, то можно увидеть, что в течение 38 лет (1973–2010) в географических точках со значением Z_{GSM}=−1301 нТл, произошло ~4900 землетрясений с M≥4,5, а в точках со значением Z_{GSM}=−43683 нТл, таких событий произошло ~700, т.е., приблизительно в 7 раз меньше. Исходя из этой глобальной статистики, следовало бы ожидать, что сейсмопотенциал в районе эпицентра Зайсанского землетрясения скорее должен быть M_{Lmax}=~5,0, как показывает вариант 1 в расчетах (8). Однако, карта потенциала сейсмогенерирующих зон (рисунок 8) тоже показывает, что сейсмопотенциал в районе Зайсанского M=6,6 землетрясения более высокий, чем в других районах ВКО. Здесь расположена сейсмогенерирующая зона № 7, сейсмопотенциал которой M≤7,0, что достаточно близко совпадает с величиной M_{Lmax}=7,12 в расчетах (8). С другой стороны, если рассмотреть карту эпицентров землетрясений с M≥4,8 с древнейших времен по 2010 г. (рисунок 9), то становится очевидным, что в величину потенциала сейсмогенерирующей зоны № 7 внесли основной вклад два землетрясения, произошедшие здесь в 1990 г.: с M=6,6, о котором уже сказано, и с M=6,2, произошедшим 3 августа 1990 г. в 09,25 час по времени на Гринвичском меридиане с координатами эпицентра 47,96° N, 84,96° E, на меньшей глубине (33 км). В этой связи можно предположить, что к 1990 г. на территории Зайсан сложились такие тектонические условия, которые обеспечили возможность возникновения здесь землетрясения с M=6,6 и возможность реализации варианта 2 в расчетах (8), вероятность которого по статистике в несколько раз меньше, чем для варианта 1.

Заключение

На нескольких территориях Восточно-Казахстанской области (Усть-Каменогорск, Семипалатинск, объект «Ульба», Зайсан) рассчитаны значения сейсмического потенциала (максимально возможной магнитуды землетрясения M_{max}) по геомагнитным данным - значениям геомагнитной Z_{GSM} - компоненты в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат (GSM). В принципе, идея использования данных о главном геомагнитном поле при исследовании вариаций сейсмичности, не нова. Так, в [33] показано, что на сейсмоактивных территориях Австрии, Японии, Китая, долгопериодные (вековые) вариации количества землетрясений коррелирует с вековыми вариациями горизонтальной компоненты геомагнитного поля, а в [34] обнаружена геомагнитная сопряженность между сейсмотектоническими структурами в северном и южном полушариях Земли.

Рассчитанные нами по геомагнитным данным значения сейсмопотенциала на территории Восточно-Казахстанской области были сопоставлены с данными о потенциале сейсмогенерирующих зон, полученным по сейсмологическим, геолого-геофизическим данным и результатам дешифрирования космоснимков. Показано, что для территий Усть-Каменогорска, Семипалатинска, и площадки объекта «Ульба» имеет место удовлетворительное согласие между оценками сейсмопотернциала разными способами, но наблюдается серьезное расхождение для тенрритории Зайсан. По данным о геомагнитном поле, наиболее вероятное значение сейсмопотенциала на этой территории может находиться в пределах M_{max} ~ 5, а по сейсмологическим данным оно составляет M_{max} ~ 7. Поскольку при оценке M_{max} на этой территории по сейсмологическим данным основной вклад внесли два неожиданно сильных Зайсанских землетрясения: M=6,6, 14 июня 1990 г. и M=6,2, 3 августа 1990 г. [35], возникает вопрос – не могли ли эти события иметь наведенную (индуцированную) природу и быть частично или полностью следствием некой техногенной деятельности на территории Восточно-Казахстанской области или в соседних регионах, поскольку, как показано, например, для территории Западной Индии [36], наведенная сейсмичность может мигрировать в пространстве. Возможно, дальнейшие исследования смогут пролить свет на этот вопрос.

Литература

1. National Space Weather Program. Strategic Plan. Office of Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research FCM-P30-1995. Washington DC. August. 1995. http://www.ofcm.gov/nswp-sp/pdf/NSWP-SP-1995-scan.pdf
2. Sorokin V.M., Chmyrev V.M., Yaschenko A.K. Theoretical model of DC electric field formation in the ionosphere stimulated by seismic activity // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2005. – Vol.67. – P. 1259–1268.
3. Гохберг М. Б., Пилипенко В. А., Похотелов О. А., Партасарати С. Акустическое возмущение от подземного ядерного взрыва как источник электростатической турбулентности в магнитосфере. // Докл. АН СССР. –1990. –Т. 313, (3). – Р. 568–574.
4. Selected Papers of MAGDAS for ISWI / MAGDAS School on Litho-Space Weather http://www.serc.kyushu-u.ac.jp/news/MAGDASSchool2011
5. Love J.J., Thomas J.N. Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes // Geophysical Research Letters. – 2013. – Vol. 40(6). – P. 1165–1170. https://doi.org/10.1002/grl.50211
6. Guglielmi, A.V., Klain, B.I. On the influence of the Sun on the seismicity of the Earth // Sol.-Terr. Phys. – 2020. – Vol. 6. – No. 1. –P. 111–115. https://doi.org/10.12737 / szf-61202010.
7. Адушкин В.В., Спивак А.А. Проблемы взаимодействия геосфер и физических полей в приповерхностной геофизике // Физика Земли. – 2019. – № 1. – С. 4–15. – https://doi.org/10.31857/S0002-3337201914-15
8. Pulinets, S. and D. Ouzounov. Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model – An unified concept for earthquake precursors validation // J. Asian Earth Sci. – 2011. – Vol. 41. – P. 371–382.

9. Сытинский А.Д. О влиянии солнечной активности на сейсмичность Земли // ДАН СССР. – 1973. – Т. 208. – № 5. –С. 1078–1081.
10. Соболев Г.А., Шестопалов И.П., Харин Е.П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли // Физика Земли. –1998. – № 7. – С. 85–90.
11. Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли. –2001. – № 11. – С. 62–72.
12. Закржевская Н.А., Соболев Г.А. О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность // Физика Земли. – 2002. – № 4. – С. 3–15.
13. Закржевская Н.А., Соболев Г.А. Влияние магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность в различных регионах // Вулканология и сейсмология. – 2004. – № 3. – С. 63–75.
14. Guglielmi, A.V., O.D. Zotov. On geoseismic noise and helioseismic oscillations // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. – 2021. – Vol. 57. – № 4. – С. 567–572. https://doi.org/10.31857/S0002333721040050
15. Ruzhin Yu., Novikov V. The response of global seismicity to solar flares of September, 2017 // International Journal of Electronics and Applied Research. – 2018. – Vol. 5. – No. 2. – P. 1–10.
16. Ружич В.В., Левина Е.А. Особенности распределения сейсмической активности в разных регионах Земли по фазам 11-летнего солнечного цикла // Солнечно-земная физика. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 116–125. https://doi.org/10.12737/szf-61202011
17. Anagnostopoulos, G., Spyroglou, I., Rigas, A., Preka-Papadema, P.,Mavromichalaki, H., Kiosses, I. The Sun as a Significant Agent Provoking Earthquakes // Eur. Phys. J. Spec. Top. – 2021. – Vol. 230. – P. 287–333. https://doi.org/10.1140/epjst/e2020-000266-2
18. Хачикян Г.Я. К вопросу о лито-космической погоде. Материалы всероссийской конференции с международным участием “Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле”. – 2020. Москва, (5–9 октября 2020). С. 124–129. https://ifz.ru/documents/lab204/sborniki_konferenciy/5_TK.pdf
19. Borovsky J.E. and Denton M.H. Differences between CME-driven storms and CIR-driven storms // J. Geophys. Res. – 2006. – Т. 111. – С. A07S08.
20. Гульельми А.В., Лавров И.П., Собисевич А.Л. Внезапные начала магнитных бурь и землетрясения // Солнечно-земная физика. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 98–103. https://doi.org/10.12737/5694
21. Baker D. N., Erickson P. J., Fennell J. F., Foster J. C., Jaynes A. N., Verronen P. T. Space Weather Effects in the Earth’s Radiation Belts // Space Science Reviews. – 2018. 60 p. https://doi.org/10.1007/s11214-017-0452-7
22. Dungey, J. W. Interplanetary magnetic field and the auroral zones // Physical Review Letters. – 1961. – V.6 (2). P. 47–48. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.6.47
23. Russell C.T. Reconnection in Planetary Magnetospheres // Advances in Space Research. – 2002. – Vol. 29. – No. 7. – P. 1045–1052.
24. Khachikyan G., Inchin A., and A. Lozbin. Spatial distribution of seismicity: relationships with geomagnetic Z-component in geocentric solar magnetospheric coordinate system // International Journal of Geosciences. – 2012. – Vol. 3. – № 5. – P. 1084–1088. http://www.scirp.org/journal/ijg
25. Russell C.T. Geophysical Coordinate Transformations // Cosmic Electrodynamics. – 1971. – Vol. 2. – P. 184–196.
26. Global NEIC catalogue 1973–2010. http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html
27. The International Geomagnetic Reference Field model. http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html
28. Khachikyan G. Ya., A.S. Inchin. The use of a geocentric solar-magnetosphere coordinate system for the study of earth's seismicity. In the book: Applied space research in Kazakhstan. Ed.: T.A. Musabaev, Zh.Sh. Zhantayev. ISBN 968-601-290-022-4. – 2010. – P. 143–149 (in Russian).
29. Tsyganenko N.A., “Geopack: A Set of Fortran Subroutines for Computations of the Geomagnetic Field in the Earth’s Magnetosphere” 2008. http://geo.phys.spbu.ru/~tsyganenko/Geopack-2008.html
30. Хачикян Г.Я., Садыкова А.Б., Стихарная Г.Г. Об оценке частоты повторяемости и силы землетрясений на основе геомагнитной ZGSM компоненты (на примере Алматинского региона) // Вестник Национальной Академии Наук Республики Казахстан. – 2015. – № 2. – С. 101–106.
31. Rautian, T. G. Energy of earthquakes. In Methods for the Detailed Study of Seismicity, ed. Y.V. Riznichenko, – 1960. – С. 75–114. Moscow: Izdatel’stvo Akademii Nauk SSSR (in Russian).
32. Хачикян Г.Я., А.Б. Садыкова, А.С. Инчин. Оценка сейсмического потенциала при проектировании ответственных сооружений в регионах с дефицитом информации о режиме сейсмичности. Материалы 14-ой научно-практической конференции и выставки «Инженерная и рудная геофизика». – 2018. Алматы, (23–27 апреля 2018). http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=91645
33. Duma G., Ruzhin Y. Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2003. – Vol. 3 (3/4). – P. 171–177. https://doi.org/10.5194/nhess-3-171-2003
34. Khachikyan G.Ya., Zhakupov N.S., Kadyrkhanova N.Zh. Geomagnetic conjugacy of modern tectonic structures // Geodynamics & Tectonophysics. – 2013. – Vol. 4 (2). – P. 187–195. https://doi.org/10.5800/GT-2013-4-2-0097
35. Нурмагамбетов А. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. / А. Нурмагамбетов, А. Сыдыков [и др.] // Землетрясения в СССР в 1990 г. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – С. 54–60.
36. Смирнов В.Б., В. О. Михайлов, А. В. Пономарев, K. Arora, R. K. Chadha, D. Srinagesh, M. Г. Потанина. О динамике сезонных компонент наведенной сейсмичности в области Койна-Варна, Западная Индия // Физика Земли. – 2018. – No. 4. – С. 100–109.

REFERENCES

1. National Space Weather Program. Strategic Plan. Office of Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research FCM-P30-1995. Washington DC. August. 1995. http://www.ofcm.gov/nswp-sp/pdf/NSWP-SP-1995-scan.pdf
2. Sorokin V.M., Chmyrev V.M., Yaschenko A.K. Theoretical model of DC electric field formation in the ionosphere stimulated by seismic activity // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2005. –Vol. 67. – P. 1259–1268.

3. Gokhberg M.B., Pilipenko V.A., Pokhotelov O.A., Partasarati S. Acoustic radiation from an underground explosion as a source of electrostatic turbulence in the magnetosphere // Rep. Academy of Sciences of the USSR. – 1990. – Vol. 313, (3). – P. 568–574.
4. Selected Papers of MAGDAS for ISWI / MAGDAS School on Litho-Space Weather. http://www.serc.kyushu-u.ac.jp/news/MAGDASSchool2011
5. Love J.J., Thomas J.N. Insignificant solar-terrestrial triggering of earthquakes // Geophysical Research Letters. – 2013. – Vol.40(6). – P. 1165–1170. https://doi.org/10.1002/grl.50211
6. Guglielmi, A.V., Klain, B.I. On the influence of the Sun on the seismicity of the Earth // Sol.-Terr. Phys. – 2020. – Vol. 6. – No.1. – P. 111–115. – https://doi.org/10.12737 / szf-61202010
7. Adushkin V.V., Spivak A.A. Problems of interaction of geospheres and physical fields in near-surface geophysics // Physics of the Earth. – 2019. – No. 1. – P. 4–15. https://doi.org/10.31857/S0002-3337201914-15
8. Pulinets, S. and D. Ouzounov. Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling (LAIC) model – An unified concept for earthquake precursors validation // J. Asian Earth Sci. – 2011. – Vol. 41. – P. 371–382.
9. Sytinsky A.D. On the influence of solar activity on the seismicity of the Earth // DAN USSR. – 1973. – Vol. 208. – No. 5. – P. 1078–1081.
10. Sobolev G.A., Shestopalov I.P., Kharin E.P. Geoeffective solar flares and seismic activity of the Earth // Physics of the Earth. – 1998. – No. 7. – P. 85–90.
11. Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A., Kharin E.P. On the connection between seismicity and magnetic storms // Physics of the Earth. – 2001. – No. 11. – P. 62–72.
12. Zakrzhevskaya N.A., Sobolev G.A. On the possible influence of magnetic storms on seismicity // Physics of the Earth. – 2002. – No. 4. – P. 3–15.
13. Zakrzhevskaya N.A., Sobolev G.A. Influence of magnetic storms with a sudden onset on seismicity in various regions // Vulkanology and seismology. – 2004. – No. 3. P. 63–75.
14. Guglielmi, A.V., O.D. Zotov. On geoseismic noise and helioseismic oscillations // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. – 2021. – Vol. 57. – No. 4. – P. 567–572. – https://doi.org/10.31857/S0002333721040050
15. Ruzhin Yu., Novikov V. The response of global seismicity to solar flares of September, 2017 // International Journal of Electronics and Applied Research. –2018. – Vol. 5. – No 2. – P. 1–10.
16. Ruzhich V.V., Levina E.A. Features of the distribution of seismic activity in different regions of the Earth by phases of the 11-year solar cycle // Solnechno-zemnaya physics. – 2020. – T. 6. – No. 1. – P. 116–125. https://doi.org/10.12737/szf-61202011
17. Anagnostopoulos, G., Spyroglou, I., Rigas, A., Preka-Papadema, P.,Mavromichalaki, H., Kiosses, I. The Sun as a Significant Agent Provoking Earthquakes // Eur. Phys. J. Spec. Top. – 2021. – Vol. 230. – P.287–333. https://doi.org/10.1140/epjst/e2020-000266-2
18. Khachikyan G.Ya. On the issue of litho-space weather. Proceedings of the Russian Conference with International Participation “Tectonophysics and Topical Issues of the Earth Sciences”. – 2020. Moscow, (October 5–9, 2020). P. 124–129. https://ifz.ru/documents/lab204/sborniki_ konferenciy/5_TK.pdf
19. Borovsky J.E. and Denton M.H. Differences between CME-driven storms and CIR-driven storms // J. Geophys. Res. — 2006. — T. 111. — C. A07S08.
20. Guglielmi A.V., Lavrov I.P., Sobisevich A.L. Sudden onset of magnetic storms and earthquakes // Solar-terrestrial physics. – 2015. – Vol. 1. – No. 1. – P. 98–103. https://doi.org/10.12737/5694
21. Baker D. N., Erickson P. J., Fennell J. F., Foster J. C., Jaynes A. N., Verronen P. T. Space Weather Effects in the Earth’s Radiation Belts // Space Science Reviews. – 2018. 60 p. https://doi.org/10.1007/s11214-017-0452-7
22. Dungey, J. W. Interplanetary magnetic field and the auroral zones // Physical Review Letters. – 1961. – V. 6 (2). – P. 47– 48. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.6.47
23. Russell C.T. Reconnection in Planetary Magnetospheres // Advances in Space Research. – 2002. – Vol. 29. – No. 7. – P. 1045–1052.
24. Khachikyan G., Inchin A., and A. Lozbin. Spatial distribution of seismicity: relationships with geomagnetic Z-component in geocentric solar magnetospheric coordinate system // International Journal of Geosciences. – 2012. – Vol. 3. – № 5. – P. 1084–1088. – http://www.scirp.org/journal/ijg
25. Russell C.T. Geophysical Coordinate Transformations // Cosmic Electrodynamics. – 1971. – Vol. 2. – P. 184–196.
26. Global NEIC catalogue 1973–2010. http://neic.usgs.gov/ neis/epic/epic_global.html
27. The International Geomagnetic Reference Field model. http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html
28. Khachikyan G. Ya., A.S. Inchin. The use of a geocentric solar-magnetosphere coordinate system for the study of earth's seismicity. In the book: Applied space research in Kazakhstan. Ed.: T.A. Musabaev, Zh.Sh. Zhantayev. ISBN 968-601-290-022-4. – 2010. – P. 143–149 (in Russian).
29. Tsyganenko N.A., “Geopack: A Set of Fortran Subroutines for Computations of the Geomagnetic Field in the Earth’s Magnetosphere” 2008. http://geo.phys.spbu.ru/ ~tsyganenko/Geopack-2008.html
30. Khachikyan G.Ya., Sadykova A.B., Stikharnaya G.G. On the assessment of the frequency and strength of earthquakes based on the geomagnetic ZGSM component (on the example of the Almaty region) // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2015. – No. 2. – P. 101–106.
31. Rautian, T. G. Energy of earthquakes. In Methods for the Detailed Study of Seismicity, ed. Y.V. Riznichenko, – 1960. – P. 75–114. Moscow: Izdatel’stvo Akademii Nauk SSSR (in Russian).
32. Khachikyan G.Ya., A.B. Sadykova, A.S. Inchin. Assessment of seismic potential in the design of critical structures in regions with a lack of information on the seismicity regime. Materials of the 14th scientific-practical conference and exhibition "Engineering and mine geophysics". – 2018. Almaty, (April 23–27, 2018). http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=91645
33. Duma G., Ruzhin Y. Diurnal changes of earthquake activity and geomagnetic Sq-variations // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2003. – Vol. 3 (3/4). – P. 171–177. https://doi.org/10.5194/nhess-3-171-2003
34. Khachikyan G.Ya., Zhakupov N.S., Kadyrkhanova N.Zh. Geomagnetic conjugacy of modern tectonic structures // Geodynamics & Tectonophysics. – 2013. – Vol. 4 (2). – P. 187–195. https://doi.org/10.5800/GT-2013-4-2-0097

35. Nurmagambetov A. Zaisan earthquake on June 14, 1990 / A. Nurmagambetov, A. Sydykov [et al.] // Earthquakes in the USSR in 1990 – Moscow: OIFZ RAS, 1996. – P. 54–60.

36. V. B. Smirnov, V. O. Mikhailov, A. V. Ponomarev, K. Arora, R. K. Chadha, D. Srinagesh, and M. G. Potanina. On the dynamics of seasonal components of induced seismicity in the Koina-Varna region, Western India // Physics of the Earth. – 2018. – No. 4. – P. 100–109.

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ ГЕОМАГНИТТІ ДЕРЕКТЕР БОЙЫНША СЕЙСМО-ГЕНЕРАЦИЯЛАЙТЫН АЙМАҚТАРДЫҢ ӘЛЕУЕТІН АНЫҚТАУ ТӘСІЛІН ТЕСТІЛЕУ

А.Б. Садықова, Г.Я. Хачикян

Сейсмология институты, Алматы, Қазақстан

Шығыс Қазақстан облысының бірнеше аумағында (Өскемен, Семей, «Үлбі» объектісі, Зайсан) геомагнитті деректер: геоцентрлік күн-магнитосфералық координаттар жүйесінде (GSM) есептелген геомагнитті Z-компонентінің мәндері бойынша сейсмикалық әлеуетті (жерсілкінулерінің ең жоғары мүмкін магнитудасын) есептеу әдісі тестіленді. Геомагнитті деректер бойынша сейсмикалық әлеуетті бағалауы Шығыс қазақстан облысы аумағындағы сейсмогенерациялайтын аймақтардың әлеуеті туралы сейсмологиялық, геологиялық-геофизикалық деректер және ғарыштық түсірілімдерді дешифрлеу нәтижелері бойынша алынған деректермен салыстырылды. Бағалаулар арасында екі түрлі тәсілмен қанағаттанарлық келісім алынды, бұл сейсмикалық режим туралы ақпарат тапшылығы бар өңірлерде (мүмкін уақытша сейсмикалық тыныштық режиміндегі) сейсмикалық әлеуетті бағалаудың баламалы әдісін қолдану мүмкіндігін растайды.

Түйін сөздер: *жер сілкінісінің максималды мүмкін шамалары, геомагниттік өрістер, жер сілкіністері, сейсмикалық потенциал, Шығыс Қазақстан.*

TESTING THE METHOD FOR DETERMINING THE POTENTIAL OF SEISMOGENERATING ZONES BY GEOMAGNETIC DATA IN THE TERRITORY OF EASTERN KAZAKHSTAN

A.B. Sadykova, G.Ya. Khachikyan

Institute of Seismology, Almaty, Kazakhstan

In certain territories of the East Kazakhstan region (Ust-Kamenogorsk, Semipalatinsk, the Ulba object, Zaisan), a method for calculating the seismic potential (maximum possible earthquake magnitude) was tested using geomagnetic data: the values of the geomagnetic Z-component calculated in the geocentric solar-magnetospheric coordinate system (GSM). Estimates of seismic potential based on geomagnetic data were compared with data on the potential of seismogenic zones in the territory of the East Kazakhstan region, obtained from seismological, geological and geophysical data and the results of interpretation of satellite images. Satisfactory agreement was obtained between the estimates by two different methods, which confirms the possibility of using an alternative method for estimating the seismic potential in regions with a deficit of information about the seismic regime (possibly, being at present in the regime of temporary seismic calm).

Keywords*: maximal possible magnitude of earthquake, geomagnetic field, earthquakes, seismic potential, Eats Kazakhstan.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-13-21
УДК 550.34:550.831.01

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И СЕЙСМОТЕКТОНИКА РАЙОНА СИП ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.Е. Великанов

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

E-mail для контактов: aevelikanov@mail.ru

Представлен общий методический подход использования специализированных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) по территории района Семипалатинского полигона для выявления активных разломов и сейсмогенных структур, потенциально опасных относительно возникновения землетрясений. К специализированным данным ДЗЗ относятся данные аэрогеофизических съёмок, данные спутниковых многоспектральных, радарных и гравиметрических съёмок. Приводятся примеры использования разных данных ДЗЗ для выявления активных разломов и участков с избыточной массой геологической среды, с которыми связана сейсмичность исследуемой территории.

Ключевые слова: *данные дистанционного зондирования Земли, избыточная масса геологической среды, аномалии силы тяжести, активные разломы, сейсмогенные структуры, сейсмичность, землетрясения.*

Введение

Первое десятилетие 21 века ознаменовалось широким использованием новых спутниковых технологий в исследованиях из космоса всей поверхности Земли. Стали доступными глобальные данные спутниковых радарных и гравиметрических съёмок, по которым были построены цифровые модели рельефа и карты аномалий силы тяжести для территории всей Земли. В это же время для территории Казахстана были построены довольно детальные единые карты аномального магнитного поля и трансформированная карта гравиметрического поля, частично охватывающая сопредельные территории. Это позволило расширить возможность анализа сейсмичности с использованием различных геофизических данных. Таким образом, в сейсмологическом центре данных (KNDC) Института геофизических исследований при анализе сейсмичности территории Казахстана и прилегающих районов Центральной Азии уже с 2011 года была замечена приуроченность многих эпицентров ощутимых умеренных и сильных землетрясений тектонического характера, а также скоплений эпицентров слабых и очень слабых землетрясений к локальным аномалиям и аномальным зонам силы тяжести, совпадающих с избыточными массами геологической среды. Эта особенность гравитационной связи сейсмичности с избыточными массами геологической среды впервые была освещена в докладах на международных конференциях, а также в научных статьях сотрудников Института геофизических исследований [1–4] в 2015–2019 годах.

Связь сейсмичности с избыточными массами геологической среды стала заметней при анализе гравиметрических карт в редукции Фая и близким к ним по содержанию карт аномалий силы тяжести в свободном воздухе, при создании которых не вычитается промежуточный слой геологической среды и учитываются все формы положительного рельефа возвышенной и горной местности [3]. Избыточная масса геологической среды может быть представлена как локальными объёмами пород повышенной плотности в любой местности (в горах, на равнине и т. д.), так и объёмами пород различной плотности, локализованными в положительных формах рельефа (в различных возвышениях – увалах, горах, грядах, хребтах и т. д.). Как правило, по периферии часто вытянутых участков земной поверхности, занимаемых избыточными массами геологической среды, проходят активные разломы, в зоне которых и осуществляются землетрясения [4]. В этом случае активные разломы становятся сейсмоактивными. Надо заметить, что региональные активные разломы не на всём своём протяжении являются сейсмоактивными. Они являются сейсмоактивными только там, где находятся скопления эпицентров землетрясений, в большинстве своём связанные с избыточными массами геологической среды.

Таким образом, можно говорить, что участки с локализованными избыточными массами геологической среды представляют собой сейсмогенные структуры, к которым приурочены сейсмоактивные разломы. Такая связь сейсмичности с избыточными массами геологической среды позволяет подойти к разработке методики выявления активных разломов и сейсмогенных структур на большой территории с использованием специализированных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Для выявления протяжённых активных разломов по цветовому спектру вытянутых линеаментов лучше всего подходят данные многоспектральных спутниковых съёмок. Для выявления избыточных масс геологической среды по аномалиям силы тяжести подходят данные гравиметрических спутниковых съёмок. Данные радарных спутниковых съёмок, по которым создаются цифровые модели рельефа (ЦМР), позволяют с высокой детальностью выявлять активные разломы и избыточные массы геологической среды, локализованные в положительных формах рельефа.

Использование специализированных данных ДЗЗ при выявлении особенностей геологического строения и сейсмотектоники района СИП

Из специализированных данных ДЗЗ для района СИП использована карта аномального магнитного поля Казахстана масштаба 1: 1 000 000 высокой детальности, составленная по материалам крупномасштабных (1:200 000) аэромагнитных съёмок и изданная в 2004 г. [5]. В качестве данных многоспектральных спутниковых съёмок использованы координатно-привязанные цветные растровые изображения съёмок Landsat ETM [6]. В качестве данных радарных спутниковых съёмок использованы данные SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) в виде цифровых моделей рельефа (ЦМР) с разрешением 90 и 30 м на местности [7]. В качестве данных гравиметрических спутниковых съёмок использованы данные миссии GRACE (2002–2009 гг.) и последующих спутниковых миссий CHAMP, GOCE (2010–2011 гг.), в результате которых построены наиболее точная карта глобального гравиметрического поля Земли модели WGM2012 и карты аномалий силы тяжести в свободном воздухе, уточнённые до разрешения 200 м с помощью ЦМР [8].

Использование специализированных данных ДЗЗ для выявления активных разломов и участков с избыточной массой геологической среды, в пределах которых впоследствии по имеющимся данным сейсмичности выделяются сейсмогенные структуры, можно показать в виде блок-схемы (рисунок 1). На блок-схеме видно, что к специализированным данным ДЗЗ относятся данные спутниковых многоспектральных, радарных и гравиметрических съёмок. Результаты аэрогеофизических съёмок (в нашем случае – аэромагнитных съёмок) также относятся к данным ДЗЗ. Результатами аэромагнитных съёмок являются карты аномального магнитного поля. Результатами спутниковых многоспектральных съёмок в данном случае являются цветовые изображения снимков Landsat. Результатами спутниковых радарных съёмок в данном случае являются цветовые изображения ЦМР и её представления в виде карт сгущения изолиний высот. Результатами спутниковых гравиметрических съёмок являются карты аномалий силы тяжести в свободном воздухе.

Для каждого вида данных ДЗЗ на блок-схеме приведены признаки выявления активных разломов и избыточных масс геологической среды. Так, например, в геофизических полях (магнитных и гравиметрических) активные тектонические разломы выявляются по вытянутым градиентным зонам быстрого изменения значений поля, по линейным минимумам значений поля или по линиям, разделяющим разные структуры поля. На рисунке 2 приведён пример использования данных аэрогеофизических съёмок в виде карты аномального магнитного поля района СИП для выявления активных разломов.

На рисунке 3 приведён пример использования цветовых изображений многоспектральных спутниковых снимков Landsat района СИП для выявления активных разломов по цветовому спектру вытянутых линеаментов в виде более светлых линий или линий раздела разных цветовых спектров. На снимке видны линеаменты северо-западного, субширотного и меридионального направлений, которые можно с большой долей уверенности интерпретировать как протяжённые региональные разломы первого порядка или менее протяжённые второго порядка.

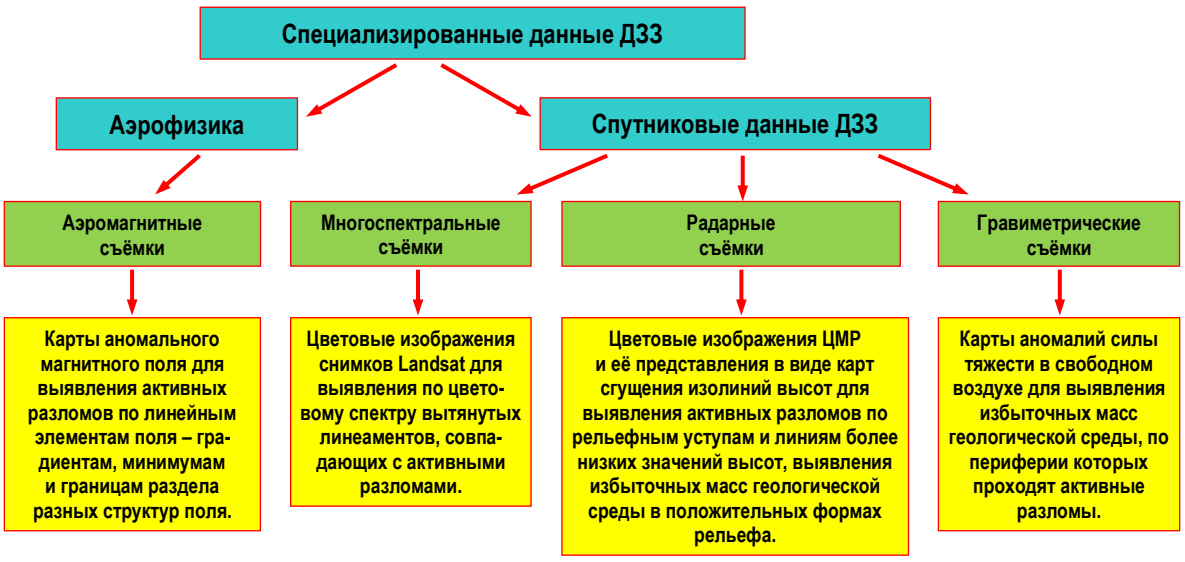
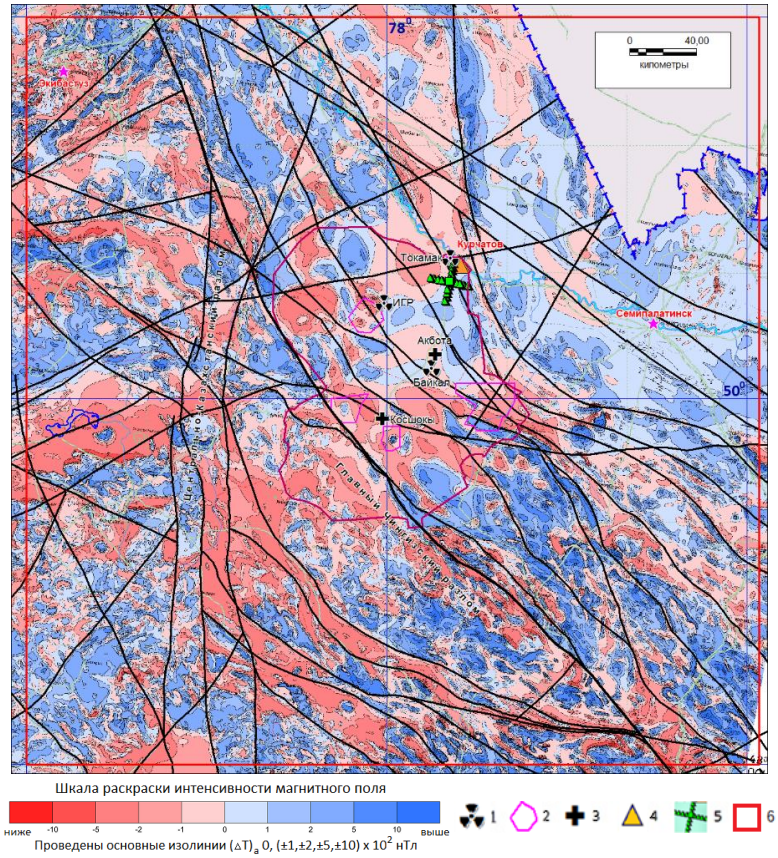


Рисунок 1. Блок-схема использования специализированных данных ДЗЗ для выявления активных разломов и участков с избыточными массами геологической среды



1 – ядерные объекты; 2 – контуры СИП и площадок испытаний; 3 – исследуемые площадки изоляции РАО; 4 и 5 – сейсмические станции Курчатов и Курчатов-Крест; общий контур исследований района СИП

Рисунок 2. Карта аномального магнитного поля района СИП [5] с элементами интерпретации активных разломов (линии чёрного цвета)

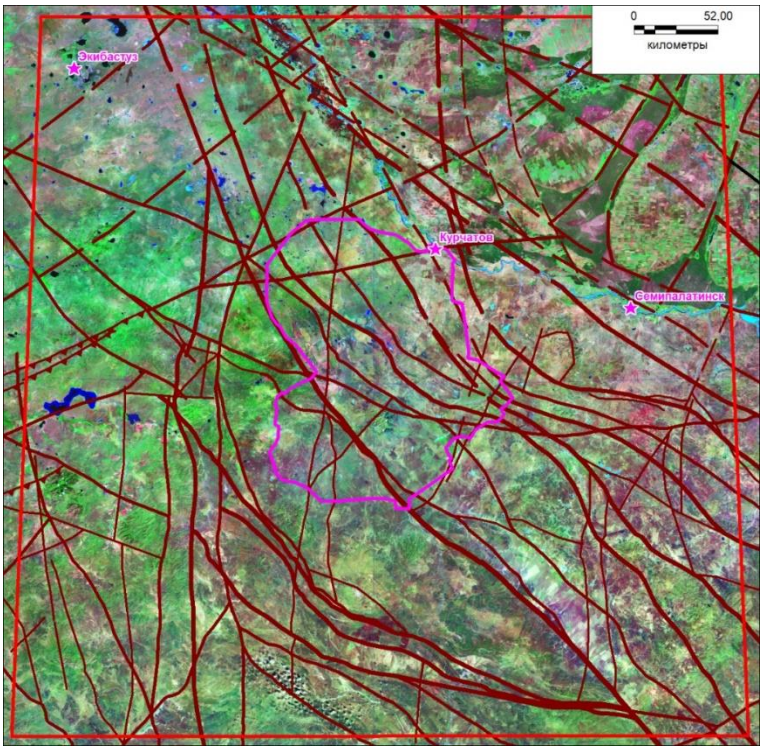


Рисунок 3. Цветовое изображение многоспектрального снимка Landsat района СИП [6] с линеаментами дешифрирования активных разломов (линии коричневого цвета)

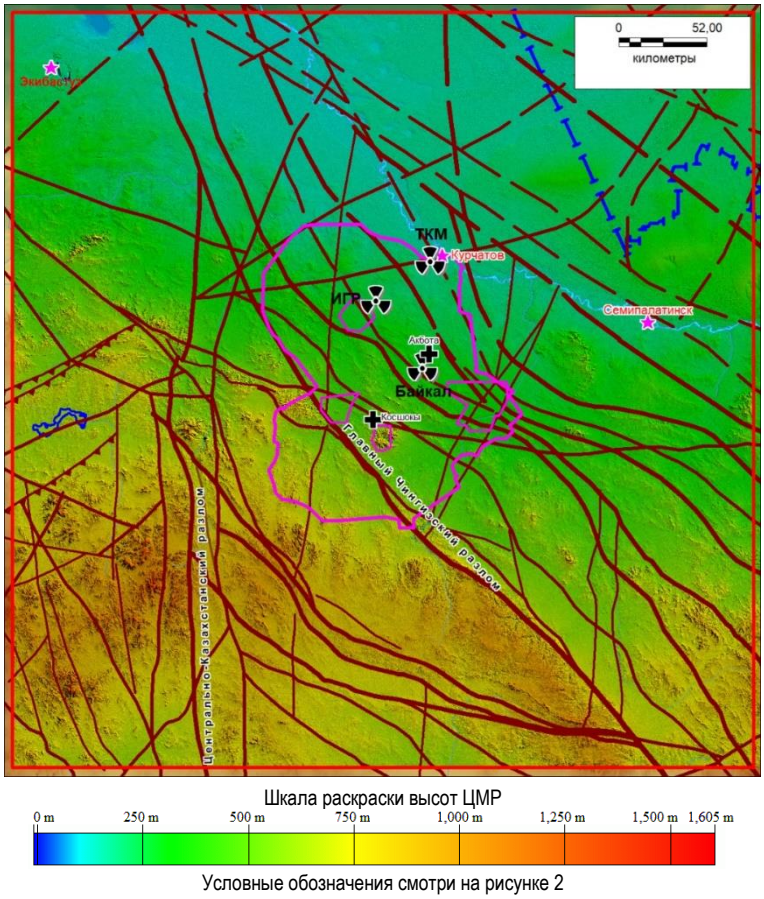


Рисунок 4. Цветовое изображение цифровой модели рельефа района СИП [7] с элементами интерпретации активных разломов (линии коричневого цвета)

На рисунке 4 приведён пример использования единой матрицы цветового изображения цифровой модели рельефа (ЦМР) района СИП, полученной по данным спутниковой радарной съёмки SRTM с разрешением до 30 м на местности. На этом изображении по краям гористой местности и зон линейных возвышений, а также по линиям минимальных значений высот и разделения разных структур рельефа можно провести линии местоположения разломов первого и второго порядков.

На рисунке 5, где показан фрагмент карты ЮВ части района СИП, использован вариант сгущения изолиний высот ЦМР, который позволяет выявить сильно возвышенные участки избыточных масс геологической среды, а по их периферии выявить местоположение сейсмоактивных разломов. Наблюдаются, как вытянутые участки сгущения изолиний, так и более изометричные или округлой формы. Вдоль вытянутых участков сгущения изолиний высот выявляются активные разломы первого порядка. Более локализованные участки сгущения изолиний высот округлой формы, оконтуренные кольцевыми разломами второго порядка, совпадают с вулкано-плутоническими структурами (ВПС). ВПС возникают вблизи активных разломов и представляют собой гранитоидные массивы батолитного типа, окружённые вмещающими вулканогенными породами, которые являются эффузивными аналогами гранитоидов. Они образуют отдельные горные массивы с абсолютными высотами до 800–1000 и более метров. Некоторые из них, наиболее возвышающиеся в рельефе над окружающей местностью и обладающие значительной избыточной массой, вполне могут быть сейсмогенными.

При наличии данных по сейсмичности и умении выявлять активные разломы, а также участки с избыточной массой геологической среды по данным ДЗЗ можно выявлять сейсмогенные структуры, потенциально опасные относительно возникновения землетрясений на СИП и прилегающей территории. Имеющиеся данные по сейсмичности района СИП [9, 10] приведены на рисунках 6 и 7 в виде эпицентров землетрясений, установленных и зарегистрированных с исторических времён по 2021 год.

На рисунке 6 показан пример использования карты аномалий силы тяжести в свободном воздухе, полученной по результатам спутниковой гравиметрической съёмки. На этой карте отмечаются зоны аномалий силы тяжести, в пределах которых располагаются скопления эпицентров от очень слабых до довольно ощутимых землетрясений (рисунок 6). Расположенная с юго-западной стороны СИП площадная зона аномалий силы тяжести в свободном воздухе с

повышенной интенсивностью до 25 мГал и выше имеет внушительные размеры – 350×150 км, и вытянутость в СЗ направлении. В западной части она разделяется меридиональной линейной зоной Центрально-Казахстанского разлома, а с северо-восточной стороны ограничена по периферии сейсмоактивным Главным Чингизским разломом. Здесь и отмечается линейная краевая градиентная часть зоны аномалий силы тяжести, в которой находятся группы эпицентров ощутимых землетрясений, также приуроченных в плане к небольшим горным хребтам. В северной части одна такая группа землетрясений с магнитудой до 5,8 (энергетический класс К=14,7) совпадает с хребтом Муржик, а в юго-восточной части вторая группа землетрясений магнитудой до 5,3 (К=12,2) совпадает с Чингизским хребтом. Возвышенные формы рельефа этих хребтов с относительной высотой до 200 м создают локализованные избыточные массы геологической среды, сложенной типичными вулканогенно-осадочными породами [3].

Однако кроме этого на карте аномалий силы тяжести в свободном воздухе заметны две группы эпицентров относительно слабых землетрясений, которые попадают в места отсутствия аномалий силы тяжести, то есть в места *дефекта массы*. Первая группа землетрясений тектонической природы находится в районе площадки Балапан, где производились подземные ядерные взрывы в глубоких скважинах. В этом районе находится широкая неровная долина, возникшая в месте сближения и схождения нескольких активных глубинных разломов первого порядка. Вторая группа землетрясений тектонической природы находится на восточном краю исследуемой площади (к востоку от первой группы) и также характеризуется местом схождения глубинных тектонических разломов первого порядка. При более детальном рассмотрении этого места на карте локальной составляющей поля силы тяжести в редукции Буге видно, что здесь с восточной стороны примыкает локальная аномалия силы тяжести, связанная с телом ультраосновных пород высокой плотности. На контакте с аномалией *дефекта массы* здесь возникает высокий градиент гравиметрического поля, усиливающий узколокальный эффект избыточной массы геологической среды.

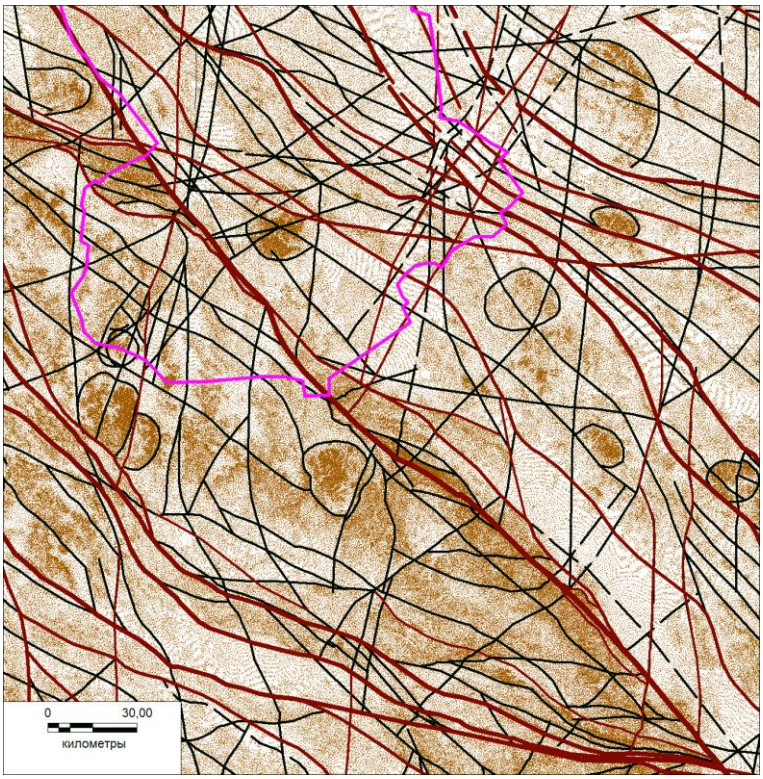
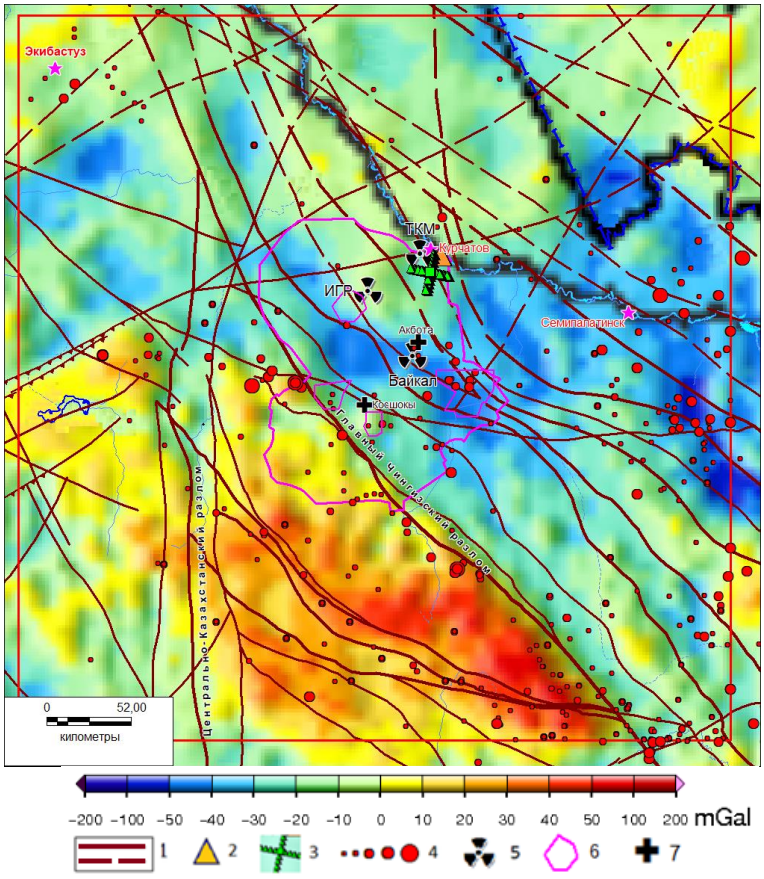


Рисунок 5. Фрагмент карты сгущения изолиний высот ЦМР для выявления активных разломов (первого порядка – линии коричневого цвета и второго порядка – чёрного цвета) и возвышенных участков избыточных масс геологической среды (места сгущения изолиний светло-коричневого цвета) в ЮВ части района СИП

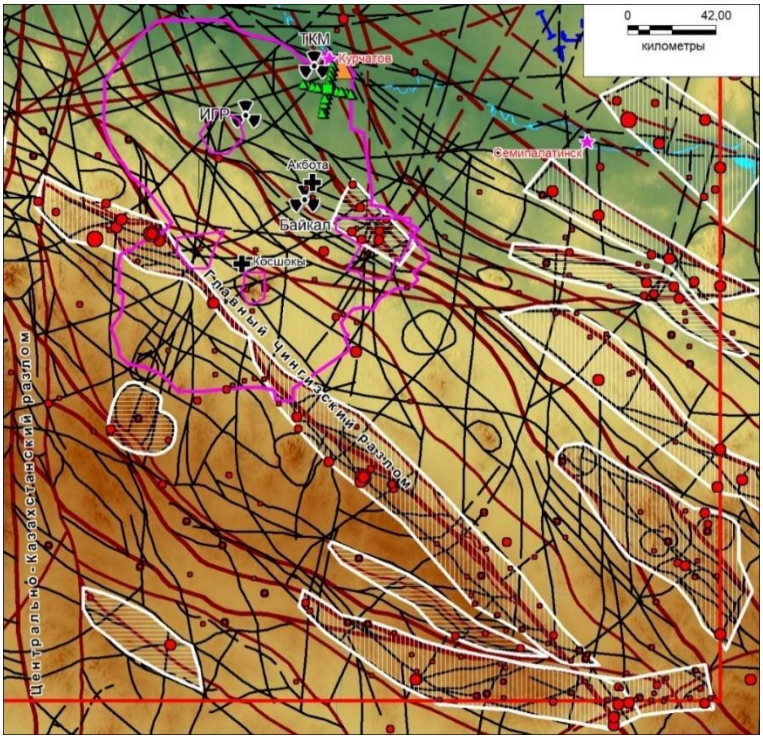


1 – разломы первого порядка в коренных породах и перекрытые рыхлыми отложениями (пунктиром);
2 и 3 – сейсмические станции Курчатов и Курчатов-Крест; 4 – эпицентры землетрясений по возрастанию магнитуды от менее 2 до 6; 5 – ядерные объекты; 6 – контуры СИП и площадок испытаний;
7 – исследуемые площадки изоляции РАО

Рисунок 6. Карта аномалий силы тяжести в свободном воздухе района СИП [8]

На рисунке 7 показан пример выделения сейсмогенных структур в местах выявления избыточных масс геологической среды и скопления эпицентров сейсмических событий, связанных с тектоническими землетрясениями, от очень слабых до ощутимых. По единичным местоположениям сейсмических событий, даже с большей магнитудой сейсмогенные структуры не выделялись. Большая часть сейсмогенных структур связана с вытянутыми участками с избыточной массой геологической среды, вдоль которых проходят протяжённые активные разломы. Сейсмогенные структуры первого порядка выделены в местах большего скопления сейсмических событий, включая сейсмические события с большей магнитудой. В зоне влияния Главного Чингизского разлома в районах расположения Муржикского и Чингизского хребтов выделены две самые значимые по опасности сейсмогенные структуры первого порядка: Муржикская и Чинизская. К востоку от места расположения Центрально-Казахстанского разлома (левая часть рисунка 7) выделена Кайнарская сейсмогенная структура второго порядка, совпадающая с одноимённой относительно более возвышенной в рельефе вулканоплутонической структурой изометричной полуокруглой формы, оконтуренной кольцевыми активными разломами.

В районе участка Балапан и к востоку от г. Семипалатинск вблизи Шульбинского водохранилища выделены сейсмогенные структуры смешанного типа, сейсмичность которых связана как с тектонической природой, так и с техногенной деятельностью людей (интенсивные подземные ядерные испытания, интенсивная добыча угля, водохранилище большого объёма). Первая из них – Балапан-Каражиринская сейсмогенная структура, расположена на участке нескольких сильно сближенных активных глубинных разломов первого порядка, который к тому же совпадает с площадкой подземных ядерных взрывов, и на котором находится Каражиринский угольный разрез с большим объёмом внутреннего отвала избыточной массы рыхлых пород. Вторая – Шульбинская сейсмогенная структура, также расположена в межразломном пространстве и связана с погребённой интрузией габбро повышенной плотности, которая отмечается аномалией силы тяжести в редукции Буге. С восточной стороны эта структура накрывает самую глубокую западную часть Шульбинского водохранилища общим объёмом 2,4 куб. км, что также представляет собой искусственно созданную избыточную массу.



Условные обозначения смотри на рисунках 5 и 6, в качестве подложки использована ЦМР с разрешением 90 м

Рисунок 7. Пример выделения сейсмогенных структур, потенциально опасных относительно возникновения землетрясений на СИП. Белыми контурами обозначены сейсмогенные структуры первого (вертикальная штриховка) и второго порядков (горизонтальная штриховка).

В процессе анализа литературных данных, освещённых в опубликованных статьях [3, 4, 11], рассмотрен вопрос теоретического характера, позволяющий прояснить механизм влияния избыточных масс на сейсмичность исследуемой территории. Гравитационные возмущения локализованных избыточных масс геологической среды вызываются действием *лунно-солнечных приливных сил*, которые способствуют переходу пород на большей глубине в напряжённо-деформированное состояние с генерацией сейсмотектонических напряжений в них. Механизм накопление сейсмотектонических напряжений в недрах Земли с последующим горообразованием обусловлен в значительной степени многократной кристаллизацией и перекристаллизацией пород на глубине под вышележащими локализованными избыточными массами при периодических лунно-солнечно-земных приливных взаимодействиях, растягивающих недра Земли в вертикальном направлении. По мере получения дополнительных данных по сейсмичности района СИП контуры сейсмогенных структур будут уточняться.

Литература

1. Михайлова Н.Н. Сейсмотектоническая обстановка в районе расположения реактора ВВР-К Института ядерной физики / Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов, И.Л. Аристова // Вестник НЯЦ РК, 2015. – вып. 4. – С. 120–126.
2. Великанов, А.Е. Гравитационная связь сейсмичности с избыточными массами геологической среды на территории Центральной Азии / А.Е. Великанов, И.Л. Аристова // Тезисы докладов V Международной конференции «Триггерные эффекты в геосистемах» (4–7 июня 2019 г.), Москва, ИДГ РАН, 2019 г. С. 39–40.
3. Великанов, А.Е. Учёт гравитационных факторов геологической среды при оценке сейсмической опасности для ядерных установок на территории Семипалатинского полигона / А.Е. Великанов, И.Л. Аристова // Вестник НЯЦ РК, 2019. – вып. 2. – С. 47–57.
4. Великанов, А.Е. Связь сейсмичности с избыточными массами геологической среды на примере Центральной Азии / А.Е. Великанов, И.Л. Аристова // Вестник НЯЦ РК, 2019. – вып. 2. – С. 98–105.
5. Аномальное магнитное поле Казахстана. - Научное издание Комитета геологии и охраны недр Министерства энергетики и минеральных ресурсов РК / Главный редактор Б.С. Ужкенов, ответственный исполнитель О.В. Игнатюк. Кокшетау 2004.
6. Landsat Data: Additional free GeoCover data sets for downloading [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid.
7. GIS-Lab. Описание и получение данных SRTM [Электронный ресурс, 2014]. – Режим доступа: http://gis-lab.info/qa/srtm.html.
8. International Gravimetric Bureau (BGI). Data/Products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://bgi.omp.obs-mip.fr/data-products.
9. Mikhailova, N.N. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009 / N.N. Mikhailova, A.S. Mukamba-

yev, I.L. Aristova, G. Kulikova, S. Ullah, M. Pilz, D. Bindi // Annal of Geophysics. – 2015. – Vol. 58, No. 1. – 9 p.
10. Казахстанский национальный центр данных. Каталог землетрясений KNDC [Электронный ресурс, 2018]. – Режим доступа: http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskie-byulleteni/automatic-bulletin.
11. Великанов А.Е. Роль кристаллизации и перекристаллизации пород в инициировании деформационных процессов в земной коре / А.Е. Великанов // Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 4–7 июня 2019 г.): материалы V Международной конференции / Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. ИДГ РАН. М.: ТОРУС ПРЕСС. 2019. С. 150–159.

REFERENBCES

1. Mikhaylova N.N. Seysmotektonicheskaya obstanovka v rayone raspolozheniya reaktora VVR-K Instituta yadernoy fiziki / N.N. Mikhaylova, A.E. Velikanov, I.L. Aristova // Vestnik NYaTs RK, 2015. – Issue 4. – P. 120–126.
2. Velikanov, A.E. Gravitatsionnaya svyaz' seysmichnosti s izbytochnymi massami geologicheskoy sredy na territorii Tsentral'noy Azii / A.E. Velikanov, I.L. Aristova // Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoy konferentsii “Triggernye effekty v geosistemakh” (4–7 iyunya 2019 g.), Moscow, IDG RAN, 2019 g. P. 39–40.
3. Velikanov, A.E. Uchet gravitatsionnykh faktorov geologicheskoy sredy pri otsenke seysmicheskoy opasnosti dlya yadernykh ustanovok na territorii Semipalatinskogo poligona / A.E. Velikanov, I.L. Aristova // Vestnik NYaTs RK, 2019. – Issue. 2. – P. 47–57.
4. Velikanov, A.E. Svyaz' seysmichnosti s izbytochnymi massami geologicheskoy sredy na primere Tsentral'noy Azii / A.E. Velikanov, I.L. Aristova // Vestnik NYaTs RK, 2019. – Issue 2. – P. 98–105.
5. Anomal'noe magnitnoe pole Kazakhstana. - Nauchnoe izdanie Komiteta geologii i okhrany nedr Ministerstva energetiki i mineral'nykh resursov RK / Glavnyy redaktor B.S. Uzhkenov, otvetstvennyy ispolnitel' O.V. Ignatyuk. Kokshetau 2004.
6. Landsat Data: Additional free GeoCover data sets for downloading [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid.
7. GIS-Lab. Opisanie i poluchenie dannykh SRTM [Elektronnyy resurs, 2014]. – Rezhim dostupa: http://gis-lab.info/qa/srtm.html.
8. International Gravimetric Bureau (BGI). Data/Products [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://bgi.omp.obs-mip.fr/data-products.
9. Mikhailova, N.N. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009 / N.N. Mikhailova, A.S. Mukambayev, I.L. Aristova, G. Kulikova, S. Ullah, M. Pilz, D. Bindi // Annal of Geophysics. – 2015. – Vol. 58, No. 1. – 9 p.
10. Kazakhstanskiy natsional'nyy tsentr dannykh. Katalog zemletryaseniy KNDC [Elektronnyy resurs, 2018]. – Rezhim dostupa: http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskie-byulleteni/automatic-bulletin.
11. Velikanov A.E. Rol' kristallizatsii i perekristallizatsii porod v initsiirovanii deformatsionnykh protsessov v zemnoy kore / A.E. Velikanov // Triggernye effekty v geosistemakh (Moskva, 4–7 iyunya 2019 g.): materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii / Pod red. V.V. Adushkina, G.G. Kocharyana. IDG RAN. M.: TORUS PRESS. 2019. P. 150–159.

ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ССП АУДАНЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ СЕЙСМОТЕКТОНИКАСЫ

А.Е. Великанов

ҚР ҰЯО РМК «Геофизикалық зерттеулер институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Жер сілкіністерінің пайда болуына қатысты ықтимал қауіпті белсенді жарылыстарды және сейсмогендік құрылымдарды анықтау үшін Семей полигоны ауданының аумағы бойынша жерді қашықтықтан зондтаудың мамандандырылған деректерін (ЖҚЗ) пайдаланудың жалпы әдістемелік тәсілі ұсынылған. ЖҚЗ мамандандырылған деректерге аэрогеофизикалық түсірілімдердің деректері, спутниктік көп спектральды, радарлық және гравиметриялық түсірілімдердің деректері жатады. Зерттелетін аумақтың сейсмикалығымен байланысты геологиялық ортаның артық массасы бар белсенді ақаулар мен учаскелерді анықтау үшін ЖҚЗ түрлі деректерді пайдалану мысалдары келтірілген.

Түйін сөздер*: Жерді қашықтықтан зондтау деректері, геологиялық ортаның артық массасы, ауырлық күшінің аномалиялары, белсенді ақаулықтар, сейсмогендік құрылымдар, сейсмикалылық, жер сілкіністері.*

FEATURES OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE AND SEISMOTECTONICS AT THE STS AREA BY EARTH REMOTE SENSING DATA

A.E. Velikanov

Branch "Institute of Geophysical Research" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The general methodological approach on using specialized remote sensing data of the Earth (ERS) on the territory of the Semipalatinsk Test Site area to identify active faults and seismogenic structures potentially dangerous with respect to the occurrence of earthquakes is presented. Specialized ERS data include data from aerogeophysical surveys, satellite multispectral, radar and gravimetric surveys. Examples of different ERS data application to identify active faults and areas with excess mass of the geological environment associated with the seismicity at the studied area are shown.
***Keywords**: Earth remote sensing data, excess mass of the geological environment, gravity anomalies, active faults, seismogenic structures, seismicity, earthquakes.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-22-27
УДК 658.012.011.56:658.512

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И АВТОМАТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА «EAGLE»

С.А. Ильиных, А.В. Сысалетин, В.А. Ермаков, А.Б. Кудранова, Р.Ж. Наурызбаев, Р.С. Исламов

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

E-mail для контактов: Ilinykh@nnc.kz

С начала 2021 года и по настоящее время в филиале «Институт атомной энергии» РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» проводятся работы по модернизации подсистемы контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) информационно-управляющей системы (ИУС) экспериментального стенда «EAGLE». В рамках этой работы было смонтировано приобретенное оборудование, произведена первичная настройка модулей и корзин расширения с помощью специализированного программного обеспечения Modbus Utility, идущего в комплекте поставки.

Ключевые слова: *информационно-управляющая система, система контрольно-измерительных приборов и автоматики, модуль, корзина расширения, шасси, автоматизированное рабочее место, аналоговый сигнал.*

Введение

Объектом исследования в данной работе является ИУС экспериментального стенда «EAGLE», в части подсистемы контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Учитывая значительный срок эксплуатации системы, на сегодняшний день ее ключевые элементы подходят к пределу своих эксплуатационных возможностей. Используемые в действующей системе преобразователи типа Grayhill (73G, 73L), аналого-цифровые преобразователи входного сигнала PCI-1713 (32 канала) и UNIO-96/5 (96 каналов) практически не имеют необходимого комплекта запасных частей для замены, используемые вычислительные машины морально устарели. Поэтому разработка и реализация проекта помимо улучшения системы измерений также способствует увеличению показателей надежности исследовательского стенда «EAGLE» [1].

Таблица 1. Показатели надежности устаревшей подсистемы

Компонент системы	Время восстановления (tв), ч	Наработка компонента на отказ (tср), ч	Средний срок службы, лет
Контроллер	4	100000	10
Модуль аналогового ввода PCI 1713	2	64770	10
Модуль аналогового ввода UNIO96-5	2	100000	10

В таблице 1 представлены показатели надежности для указанного выше оборудования, используемого в устаревшей подсистеме КИПиА. Учитывая значительный срок эксплуатации системы, как можно увидеть из этих показателей, все оборудование уже давно выработало свой ресурс и перешло в предельное состояние, то есть состояние, при котором его ремонт или замена на такое же не является целесообразным [2].

Также можно заметить, что у него очень большие показатели времени восстановления, что очень плохо, если оборудование выйдет из строя во время эксперимента. К примеру, при замене модуля ввода PCI-1713 возникает необходимость полной переустановки драйверов в настройки модуля, для дальнейшей корректной его работы.

До конца 2021 года будут разработаны алгоритмы:

- пересчета сигналов с термопар типов К (хромель-алюмель, ХА) и А-1 (вольфрам-рений, ВР), с возможностью быстрого изменения типа пересчета при замене термопары для каждого канала;
- пересчета сигналов с датчиков давлений по заданным паспортам;
- пересчета сигналов с датчиков расходов и уровней.

Задачи:

- обеспечить сбор и отображение измерительной информации;
- обеспечить автономную регистрацию текущих значений измеряемых параметров по всем аналоговым каналам с частотой регистрации 10 Гц, а также быструю регистрацию основных каналов с частотой 500 Гц, при этом общее время регистрации – не менее 10 ч;
- предусмотреть функциональную независимость всех автоматизированных рабочих мест (АРМ) операторов и местных пультов друг от друга, при сохранении единой архитектуры ИУС.

Модернизация ИУС КИПиА

ИУС КИПиА экспериментального стенда «EAGLE» предназначена для получения измерительной информации о технологических параметрах установки и выдачи логических сигналов в систему автоматического управления в случае выхода измеряемых параметров за установленные пределы. ИУС КИПиА измеряет такие технологические параметры

как температура, давление, расход и уровень. Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

ИУС КИПиА представляет собой комплекс измерительных средств, вспомогательного оборудования и предназначена для осуществления функций:

– обеспечение сбора и предварительной обработки измерительной информации;
– контроль заданных пределов (уставок) значений измеряемых параметров;
– отображение и регистрация измерительной информации на автоматизированных рабочих местах (АРМ) операторов.

Модули ввода системы должны обеспечивают измерение аналоговых параметров следующих технологических систем:

– электротехнические системы формирования питающих напряжений;
– система подачи аргона;
– система подачи технологического азота;
– система вакуумирования экспериментальной установки;
– система подачи теплоносителя на охлаждение элементов конструкции электрической высокотемпературной плавильной печи;
– система подачи теплоносителя на охлаждение оборудования электротехнической системы;
– система дренажа горячих газов из полости установки (УПР, ЭПП);
– система подготовки и подачи жидкого натрия в испытательную секцию экспериментальной установки;
– система электрического нагрева до требуемых значений температуры элементов конструкции испытательной секции.

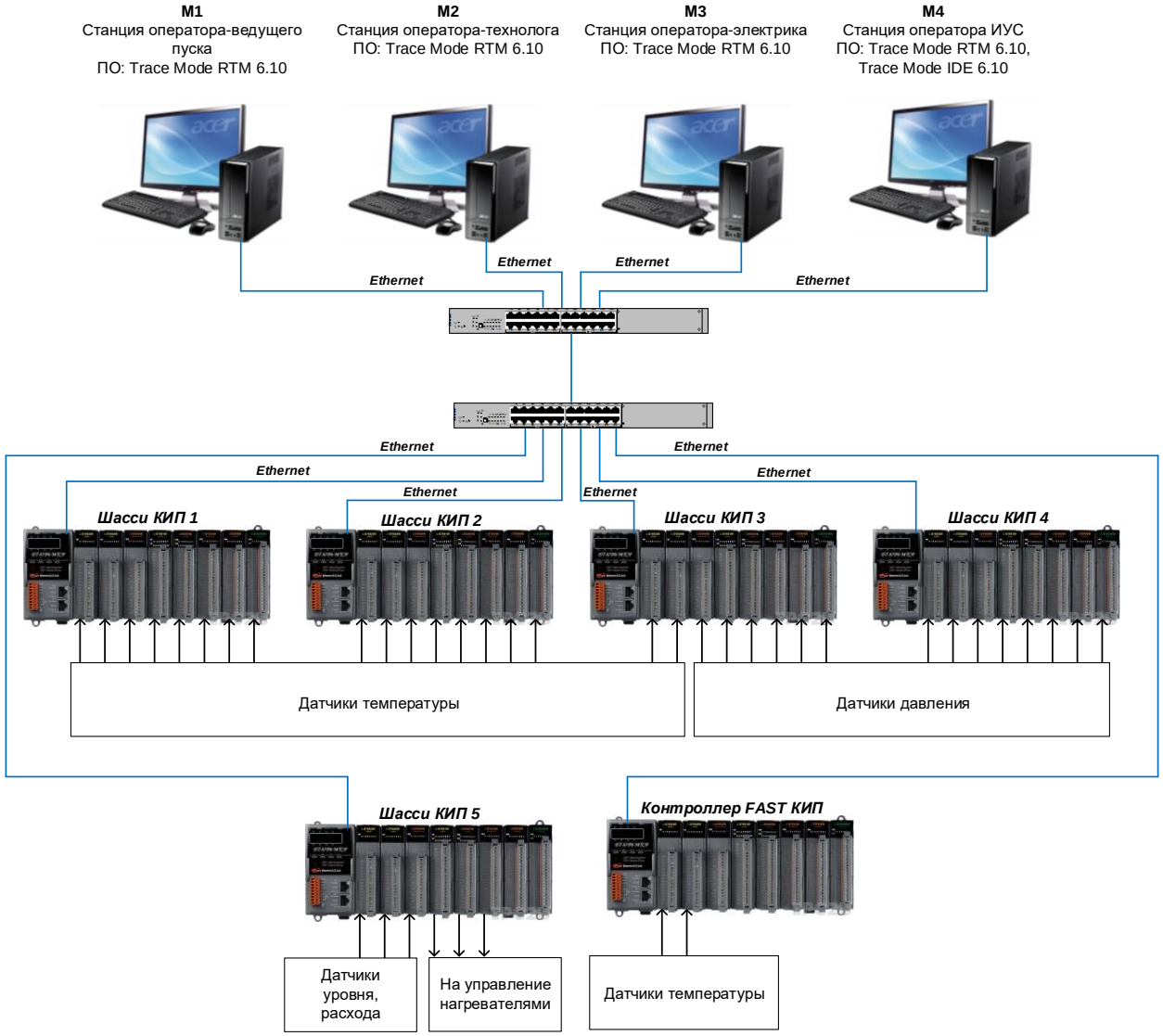


Рисунок 1. Структура ИУС КИПиА

На данный момент, в соответствии с базой каналов, к модулям старой ИУС КИПиА подключены:

- 139 термопар типов К (хромель-алюмель, ХА) и А-1 (вольфрам-рений, ВР);
- 111 датчиков давления ДДМ (датчик давления многопредельный);
- 6 датчиков уровня Сапфир 22 (датчик перепада давления);
- 14 датчиков расхода Сапфир 22 (датчик перепада давления);
- 7 термосопротивлений;
- 18 каналов на управление нагревателями.

В модернизированной системе будет использоваться оборудование компании IPC DAS [3], а именно:

- шасси ICP DAS ET-8KP-8-MTCP;
- модули ввода аналоговых сигналов ICP DAS I-87019RW;
- модули вывода аналоговых сигналов ICP DAS I-87024RW;
- модули ввода сигналов с термосопротивлений ICP DAS I-87015PW;
- промышленные контроллеры ICP DAS WP-8841;
- модули вывода аналоговых сигналов ICP DAS I-8028UW;
- высокочастотные модули ввода аналоговых сигналов ICP DAS I-8017HCW.

Предлагаемая ИУС будет работать на базе контролеров фирмы ICP DAS моделей WP-8841 и ET-87P8-MTCP, которые смогут обеспечить подключение всех необходимых датчиков (первичных преобразователей).

Корзина расширения (шасси) ICP DAS ET-87P8-MCTP, представленная на рисунке 2, предназначена для подключения модулей ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов. Она имеет последовательную шину для связи с устанавливаемыми модулями ввода-вывода и поддерживает модули серии i-87k (модули с последовательным интерфейсом). ET-8KP8-MTCP предназначена для использования в суровых климатических условиях и помехонасыщенной среде, может работать в широком диапазоне температур (от −25 до +75 °C) и имеет широкий диапазон входного питающего напряжения (от 10 до 30 В постоянного тока). Корзина имеет два порта Ethernet, что даёт возможность подключения по топологии daisy-chain (последовательное подключение устройств). Корзина ET-8KP8 может настраиваться через утилиту Modbus Utility, посредством которой пользователь может получить доступ к настройкам и таблице Modbus регистров.

Часть датчиков системы дублирована для проведения быстрой регистрации данных. В качестве контролера для проведения быстрой регистрации был выбран ICP DAS WP-8841 (рисунок 2). На данном контроллере предустановлена операционная система Windows CE 5.0, имеются разъёмы VGA и USB что позволяет подключать периферийные устройства и работать ему как отдельное устройство. Контроллер поддерживает инструментальные среды программирования Visual Studio .NET 2005/2008, eMbedded Visual C++. Подключение модулей расширения происходит как по последовательной, так и по параллельной шине данных. Для подключения и обмена информацией с автоматизированными рабочими местами операторов на контроллере имеются два порта Ethernet. Также, для подключения дополнительных модулей или шасси, предусмотрена поддержка двух портов RS232 и одного порта RS485. Обмен информацией с автоматизированными рабочими местами операторов происходит с помощью OPC-сервера NapOPC.



шасси ET-87P8-MCTP



контроллер WP-8841

Рисунок 2. Используемое оборудование

На рисунке 3 показано смонтированное оборудование. Как видно, в показанном шкафу находится пять шасси, укомплектованных модулями аналогового ввода ICP DAS I-87019RW для подключения всех первичных преобразователей системы и модулями аналогового вывода ICP DAS I-87024RW для управления нагревателями.



Рисунок 3. Смонтированное оборудование

В таблице 2 представлены показатели надежности для модернизированной подсистемы КИПиА. Как можно заметить, все оборудование имеет большую наработку компонента на отказ, т. е. время работы компонента после восстановления до следующего отказа [2]. Также, оно имеет малое время восстановления – замена одного модуля занимает всего 5 минут, при этом не нужно вносить какие-либо изменения в программу. Все оборудование свободно продается, и его можно закупить в любой момент. Следует отметить, что в комплекте имеется запас модулей, шасси и контроллеров.

Таблица 2. Показатели надежности устаревшей подсистемы

Компонент системы	Время восстановления (tв), мин	Наработка компонента на отказ (tср), ч	Средний срок службы, лет
Шасси ET-87P8-MCTP	15	200000	10
Контроллер ICP DAS WP-8841	15	200000	10
Модуль аналогового ввода I-87019RW	5	200000	10
Модуль аналогового ввода I-87015PW	5	200000	10
Высокочастотный модуль аналогового ввода I-8017HCW	5	200000	10

В системе используются 16-разрядные аналогово-цифровые преобразователи, точность измерения которых составляет +/−5 LSB (наименьший значащий бит) от настроенного диапазона измерения, т.е:

– для диапазона +/−10 В точность составит +/−1,5 мВ;

– для диапазона 0...20 мА точность составит +/−1,5 мкА;

– для термопары типа K: −270...+1372 °C (сплав хромель-алюмель) точность составит +/−0,125 °C;

– для термопары типа A-1: 0...+2500 °C (сплав вольфрам-рений) точность составит +/−0,19 °C;

– для термосопротивления Pt100: −200...+450 °C точность составит +/−0,04 °C.

Был предусмотрен запас в размере 15% от необходимого количества отдельных компонентов информационно-измерительной системы, поэтому в случае выхода из строя шасси, модуля либо блока питания возможна замена неисправного компонента. При этом даже замена целого шасси, как можно увидеть из таблицы 2, займет не более 15 минут. Все автоматизированные рабочие места имеют полный функционал, то есть при выходе из строя какого-либо рабочего места можно продолжать работу на другом, пока не будет осуществлена замена (установлен новый компьютер, для которых также предусмотрен запас).

На рисунке 4 показано окно инструментальной среды разработки Trace Mode IDE 6.10. Trace Mode – это программный комплекс класса SCADA HMI, предназначенный для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. На данный момент закончен процесс добавления всех необходимых каналов, которые разбиты на группы. Для термопар были добавлены программы пересчета электрических значений с датчиков в физические величины. Идет разработка мнемосхем экранов операторов.

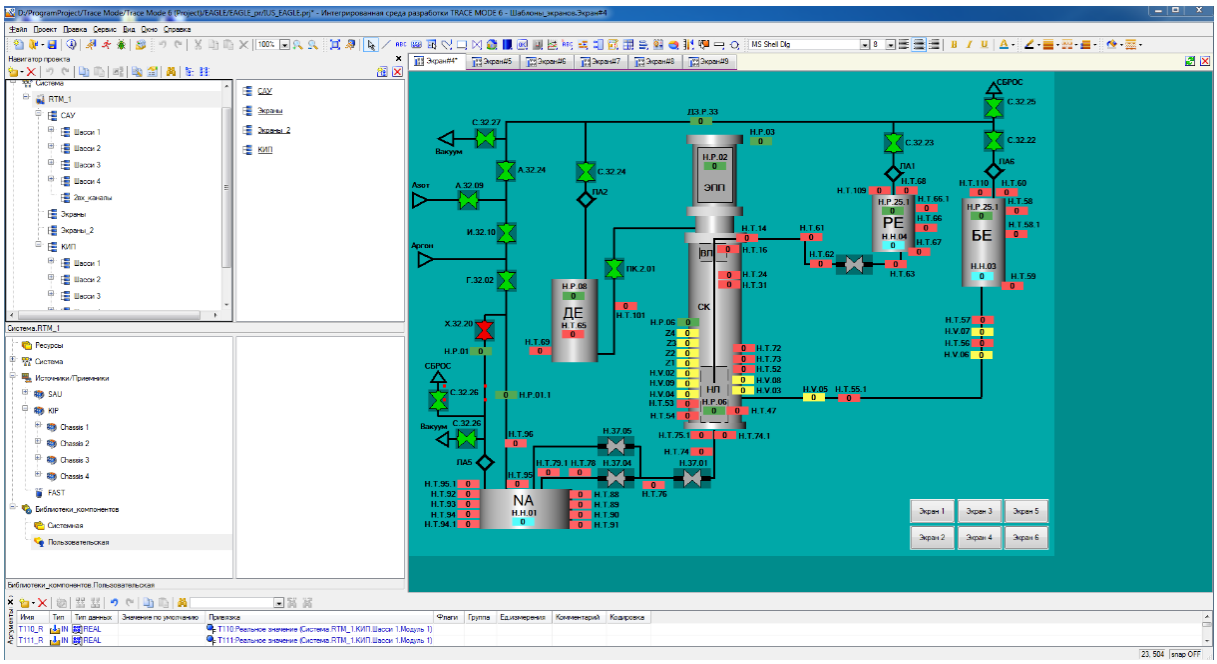


Рисунок 4. Инструментальная среда разработки Trace Mode 6.10 IDE

Разработка программ пересчета производится на языке FBD (язык функциональных блоков), входящем в стандарт IEC 61131-3, используемый в указанной выше среде разработки. На рисунке 5 представлена часть программы для пересчета электрических значений с термопар в физические величины. Для программы были дополнительно созданы функциональные блоки Termo на языке структурированного текста ST.

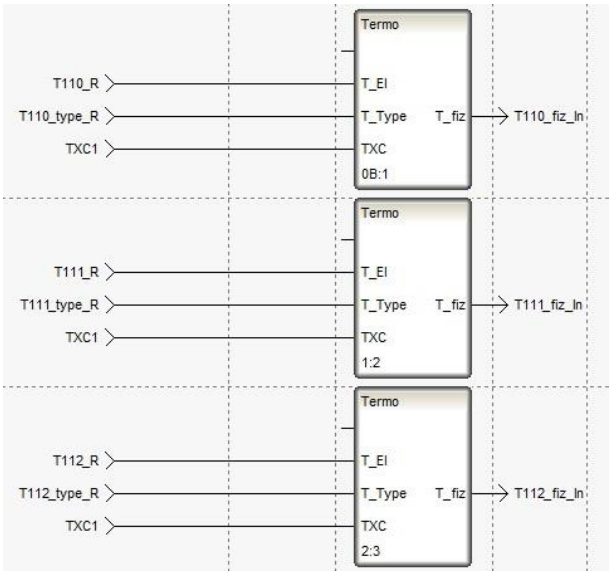


Рисунок 5. Программа пересчета термопар

Регистрация данных осуществляется на АРМ, расположенных на верхнем уровне системы, частота регистрации составляет 10 Гц, в случае необходимости оператор может уменьшить частоту регистрации до 1 Гц. Предусмотрена быстрая регистрация для основных каналов с частотой 500 Гц. Все данные напрямую сохраняются в файл в виде электронных таблиц, файл EXCEL, что значительно упрощает дальнейшую работу с зарегистрированной информацией.

При разработке графических экранов операторов в качестве фона был выбран оттенок синего цвета – это обусловлено тем, что такие оттенки дают чувство спокойствия, подталкивая к вдумчивому и рассудительному вчитыванию в информацию. Для текстовых данных был выбран шрифт без засечек Arial, так как использование шрифтов без засечек на экране облегчает чтение информации. Для создания наибольшей контрастности весь текст на экране имеет черный цвет. Размер символов для названия контрольных точек был установлен 11 пт, для названия мнемосхем был установлен размер символов 16 пт.

На мнемосхемах применяется динамизация графических элементов. Например, согласно принятой практике, для отображения включенных/открытых агрегатов либо показаний, вышедших за допустимые пределы, применяется окраска графического элемента в красных цвет, для выключенных/закрытых агрегатов применятся окраска в зеленых цвет. Применение таких цветов позволяет оператору четко воспринимать информацию о состоянии элементов системы. Также, для создания наибольшей контрастности, были вобраны наиболее насыщенные тона этих цветов.

Заключение

В результате выполнения данной работы на установке будет внедрена качественно новая информационно-управляющая система. К концу 2021 года было смонтировано приобретенное оборудование, произведена первичная настройка модулей и корзин расширения с помощью специализированного программного обеспечения. Разработано программное обеспечение для пересчета электрических сигналов с первичных преобразователей в физические величины для подсистемы контрольно-измерительных приборов и автоматики, ведется разработка и программирование консолей операторов для подсистемы контрольно-измерительных приборов (КИП) ИУС «EAGLE».

За счет применения современного оборудования и программного обеспечения, будут достигнуты большое быстродействие и надежность системы, а также обеспечена возможность наращивания системы, что приведет к повышению качества научных исследований, проводимых на этом стенде.

Применение SCADA-системы позволит создать экраны операторов с высокими эргономическими характеристиками и большой информационной емкостью. Благодаря регистрации экспериментальных данных в цифровом виде, упрощается их обработка и дальнейшие расчеты.

Литература

1. Ильиных С.А., Сысалетин А.В., Ермаков В.А., Кудранова А.Б., Наурызбаев Р.Ж., Модернизация информационно-управляющей системы экспериментального стенда «EAGLE» // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – Вып. 4. – С. 38–44.
2. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике.
3. WinPAC-8000 User Manual (For Standard WP-8000) Version 2.0.9. – 2014 ICP DAS Co., Ltd.
4. ГОСТ 11064-5-2015 Эргономисечкое проектирование центров управления. Дисплеи и элементы управления.

References

1. Il'inykh S.A., Sysaletin A.V., Ermakov V.A., Kudranova A.B., Nauryzbaev R.Zh., Modernizatsiya informatsionno-upravlyayushchey sistemy eksperimental'nogo stenda «EAGLE» // Vestnik NYaTs RK. – 2019. – No. 4. – P. 38–44.
2. GOST 27.002-2015 Nadezhnost' v tekhnike.
3. WinPAC-8000 User Manual (For Standard WP-8000) Version 2.0.9. – 2014 ICP DAS Co., Ltd.
4. GOST 11064-5-2015 Ergonomic design of control centers. Displays and controls.

«EAGLE» ЭКСПЕРИМЕНТТІК СТЕНДІНІҢ БАҚЫЛАУ-ӨЛШЕУ АСПАПТАРЫ МЕН АВТОМАТИКАСЫНЫҢ КІШІ ЖҮЙЕСІН ЖАҢҒЫРТУ

С.А. Ильиных, А.В. Сысалетин, В.А. Ермаков, А.Б. Кудранова, Р.Ж. Наурызбаев, Р.С. Исламов

ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазахстан

2021 жылдың басынан бастап қазіргі уақытқа дейін Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығы РМК «Атом энергиясы институты» филиалында «EAGLE» эксперименттік стендінің ақпараттық-басқару жүйесінің бақылау-өлшеу аспаптары мен автоматикасының кіші жүйесін жаңғырту бойынша жұмыстар жүргізілуде. Осы жұмыстың аясында сатып алынған жабдықтар орнатылып, Modbus Utility мамандандырылған бағдарламалық қамтамасыз етудің көмегімен модульдер мен кеңейту себеттерін бастапқы күйге келтіру жүргізілді.
Түйін сөздер: *ақпаратты басқару жүйесі, бақылау-өлшеу аспаптары және автоматика жүйесі, модуль, кеңейту себеті, шасси, жұмыс станциясы, аналогтық сигнал.*

CONTROL AND INSTRUMENTATION SUBSYSTEM MODERNIZATION OF THE EAGLE TEST BENCH

S.A. Ilinykh, A.V. Sysaletin, V.A. Ermakov, A.B. Kudranova, R.Zh. Nauryzbaev, R.S. Islamov

Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

From the beginning of 2021 to the present, "Institute of Atomic Energy" branch of the RSE "National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan" has been working on modernization of the control and instrumentation subsystem of the information and control system of the EAGLE test bench. As part of this work, the purchased equipment was mounted, the primary adjustment of the modules and expansion baskets was made using the specialized Modbus Utility software included in the delivery set.
Keywords: *information management system, instrumentation and automation system, module, expansion basket, chassis, workstation, analog signal.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-28-35
УДК 550.344

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА ПО ЗАПИСЯМ ПРИБОРОВ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Н.Н. Михайлова, А.Н. Соколов, И.Н. Соколова

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

E-mail для контактов: sokolova@kndc.kz

В статье описана база данных сильных движений, в которой содержатся цифровые записи и результаты обработки как аналоговых, так и цифровых станций из района Восточного Казахстана. В базу данных вошли более 150 записей по цифровым данным сети сильных движений, а также по аналоговым станциям на эпицентральных расстояниях 7–4883 км. Максимальное ускорение, за этот период было получено станцией Буран для афтершока Зайсанского землетрясения в 1990 г.

Ключевые слова: *сильные движения, Восточный Казахстан, интенсивность, сейсмические воздействия; сейсмическая опасность.*

Введение

В последние годы возрос интерес к изучению сейсмичности на территории Восточного Казахстана. Этот интерес обусловлен высокой плотностью населения в регионе, наличием большого количества добывающих и перерабатывающих производств, наличием объектов атомной отрасли. На территории Восточного Казахстана находится бывший Семипалатинский испытательный полигон, сейсмичность которого до последних лет практически не изучалась.

Оценка сейсмической опасности по современным требованиям должна проводиться в двух вариантах – в значениях интенсивности колебаний в баллах макросейсмической шкалы и в количественных характеристиках колебаний грунта (ускорениях, скоростях и смещениях). При задании сейсмических нагрузок для сейсмостойких сооружений требуется знание возможных параметров сейсмических воздействий на площадке строительства при ожидаемых сильных землетрясениях. Чтобы получить такие характеристики, требуется регистрация колебаний приборами сильных движений для получения реальных записей физических параметров колебаний грунта на конкретных площадках и использования их в дальнейшем для прогноза сейсмических воздействий при будущих возможных сильных землетрясениях.

Требуется изучение и документирование макросейсмического проявления землетрясений на территории Восточного Казахстана при сильных и ощутимых землетрясениях, что поможет поиску региональных уравнений макросейсмического поля, а также поиску корреляций макросейсмических и инструментальных характеристик в этом районе.

Отметим, что в целом для территории Восточного Казахстана плохо изучена историческая сейсмичность, скудные документированные факты об ощутимых землетрясениях относятся лишь к периоду, начиная с середины XVIII века, когда на территории Западного Алтая стали строиться укрепления, основываться поселения казаков, создаваться рудники для добычи полезных ископаемых, и формироваться поселки вблизи месторождений. Самый полный обзор сейсмичности Семипалатинской губернии с середины XVIII до начала XX века был представлен в исторической справке Чеканинского И.В. [1], а также в работе Мушкетова И.В., Орлова А. [2].

Таким образом, с XVIII века уже известно о том, что на территории Семипалатинской губернии и ее окрестностей происходят ощутимые землетрясения слабой и средней силы, а также ощущаются колебания от сильнейших далеких землетрясений из района Алтая, Китая и Северного Тянь-Шаня. Максимальная интенсивность I=7 баллов наблюдалась при землетрясении 21 мая 1901 г. в селе Глубокое [1].

Инструментальная регистрация землетрясений на территории Восточного Казахстана началась в 1934 году, в регионе была установлена сейсмическая станция Семипалатинск (SEM), которая начала вести непрерывную регистрацию сейсмических колебаний. Долгие годы это была единственная станция на огромной территории Восточного Казахстана.

В 1990 году неожиданно для сейсмологов в Восточном Казахстане произошло сильное разрушительное Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г., с Mw=6,6 [3]. С наибольшей интенсивностью землетрясение проявилось в населенных пунктах Рожково и Бакасу, находящихся соответственно в 22 и 37 км южнее эпицентра, где сила сотрясений достигала 8 баллов [3]. Во многих саманных и каменных зданиях наблюдались повреждения в виде сквозных трещин и проломов в стенах, обрушения отдельных частей зданий, полное обрушение внутренних стен, кирпичных печей [3]. После этого землетрясения была в срочном порядке пересмотрена действующая на тот период карта сейсмического районирования (создана «Временная схема сейсмического районирования Восточного Казахстана»), открыта новая стационарная станция Зайсан, пункты сильных движений.

27 сентября 2003 г. в 11 часов 33 минуты 23.3 секунды по Гринвичу на территории Горного Алтая в

долине р. Чуя в горной перемычке между Чуйской и Курайской впадинами произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой Mw=7,3 (координаты эпицентра – 50,04 с.ш., 88,07 в.д.). За инструментальный период сейсмологических наблюдений это самое крупное землетрясение на территории Алтае-Саянской складчатой области. [4]. Землетрясение в зоне эпицентра вызвало сотрясения почвы более 10 баллов по шкале MSK-64. На территории Восточного Казахстана землетрясение ощущалось во многих населенных пунктах: Семей, Усть-Каменогорск, Курчатов – 4 балла, Зайсан и Маканчи – 3 б [4].

В настоящей работе предпринята первая попытка обобщения всех накопленных за 30 лет инструментальных данных по количественным параметрам сильных движений грунта по станциям, расположенным в Восточном Казахстане.

Станции сильных движений Восточного Казахстана

Ситуацию с сетью станций сильных движений в Восточном Казахстане нельзя признать благополучной. Долгие годы их вообще не было, сейчас их тоже далеко не достаточно. Первые приборы для регистрации сильных движений были установлены только после сильного Зайсанского землетрясения. Станция Буран была установлена в эпицентральной зоне Зайсанского землетрясения 14 июня 1990 г. [3] вскоре после основного толчка на расстоянии 19 км от эпицентра (рисунок 1, таблица 1). Кроме станции Буран, в июле 1990 г. была открыта новая сейсмическая станция Зайсан [5], на которой кроме стандартного чувствительного сейсмометра СКМ [6] также был установлен прибор сильных движений ИСО (рисунок 1, таблица 1), в 1991 г. в этом районе был открыт еще один переносной пункт сильных движений Рожково (рисунок 1, таблица 1).Запись проводилась в ждущем режиме на фотопленку.

Оперативная установка приборов сильных движений в очаговой области сильного Зайсанского землетрясения позволила уже в первые же месяцы на пункте СД Буран для сильнейшего афтершока Зайсанского землетрясения 3 августа 1990 г. с Mw=6,1 [3, 5] прибором ИСО-IIМ+С5С [6] получить запись по двум горизонтальным компонентам с чувствительностью 0,1 с [3].

На рисунке 2 представлена велосиграмма по компоненте В-З. Измерения показали, что максимальная амплитуда колебательной скорости составила 11,4 см/с на периоде 1,2 с [3]. Длительность участка «больших» амплитуд равна 2 с. Велосиграмма по компоненте В-З была оцифрована и обработана [14] (рисунок 2), по ней были рассчитаны спектры реакции в терминах ускорения, скорости и смещения. Максимум в спектре ускорения наблюдался на периоде 0,2 с. Интерпретация полученных данных с точки зрения связи инструментальных характеристик с макросейсмическими показала, что значение максимального ускорения 115 см/с^2 по расчетной акселерограмме, соответствует 7 баллам [3]. Значение скорости 11,4 см/с соответствует верхней границе интервала колебательных скоростей для 6 баллов [3]. Таким образом, исходя из имеющейся записи, можно утверждать, что в эпицентральной области землетрясения 3 августа 1990 г. имели место эффекты интенсивностью в 6–7 баллов [3]. Следует отметить, что зарегистрированное станцией Буран ускорение остается пока максимальным за всю историю наблюдений сильных движений в Восточном Казахстане.

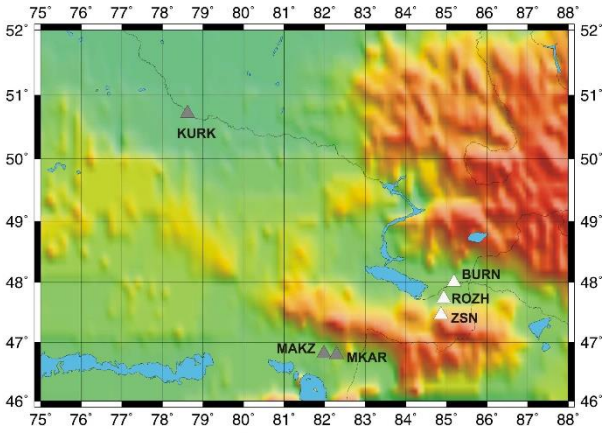


Рисунок 1. Карта расположения станций сильных движений Восточного Казахстана

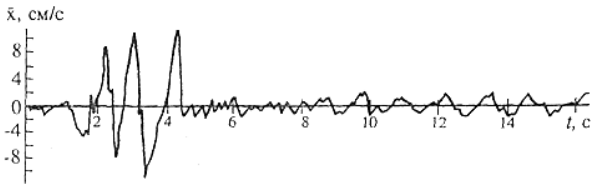


Рисунок 2. Велосиграмма сильного афтершока Зайсанского землетрясения 3 августа 1990 года [3]

Таблица 1. Параметры аналоговых станций сильных движений ИС АН КазССР

Станция	Дата открытия	Закрытие	Широта, N	Долгота, E	h, м	Тип прибора	Компоненты
Зайсан (ZSN)	07.1990	1995–2000	47,4613	84,8646	550	ИСО	N, E, Z
Буран (BURN)	07.1990	1995–2000	48,0008	85,1867	400	ССРЗ ИСО	N, E, Z
Рожково (ROZH)	1991	1995–2000	47,733	84,933		ИСО	N, E, Z

Таблица 2. Параметры записей СД по аналоговым станциям сильных движений Восточного Казахстана

гг	мм	дд	t0, ч.м.с.	φ, °	λ°	H, км	Ms	Станция	Расстояние, км	I_0, балл	V, см/с E–W	V, см/с N–S	T, с	d, с
1990	08	03	09:15:07	47,80	84,77	20	6,1	BURN	38	6–7	11,4		1,2	2
1995	05	28	21:46:55.1	47,417	85,417	зк	4,9	ZSN	93	4	0,24	0,20	0,36	1,5

Таблица 3. Параметры станций сильных движений сети ИГИ НЯЦ РК

Код станции	φ°, N	λ°, E	h, м	Название станции	Начало работы	АЦП	Акселерометр	Частота оцифровки, Гц	Условия установки
KURK	50,715	78,620	184	Курчатов	1996	Q330HR	FBA23	1	шахта, гранит
					2011	Q330HR	FBA23	100	
					2019	Q330HR	Episensor ES-T	100	поверхность
MAKZ	46,808	81,977	600	Маканчи	1996–2004	Q330	FBA-ES-Episensor	80	штольня, гранит
					2010	Q330	FBA-ES-Episensor	100	
MKAR	46,7937	82,2904	615	Маканчи	1999	AIM24S	KS54000-CTBTO	40	скважина, гранит
					2011	AIM24S	CMG-3TB	40	
* Скважинные сейсмометры KS54000-CTBTO и CMG3TB являются чувствительными акселерометрами.									

Для землетрясения 28 мая 1995 г. на эпицентральном расстоянии 93 км, станция Зайсан зарегистрировала сильные движения с максимальной колебательной скоростью Amax=0,24 см/с (таблица 2).

Цифровые станции сильных движений ИГИ НЯЦ РК на территории ВК

Первая цифровая станция сильных движений сети ИГИ НЯЦ РК начала свою работу в сентябре 1996 г., когда на сейсмической станции IRIS/GSN в Маканчи был установлен акселерометр сильных движений FBA23. В настоящее время в Восточном Казахстане работают две станции сильных движений сети ИГИ НЯЦ РК – Маканчи и Курчатов, обе входят в глобальную сеть мониторинга IRIS [7–10] (рисунок 1, 3).



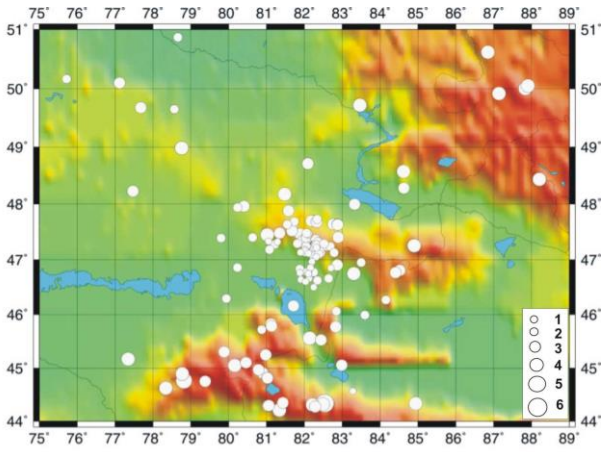
а) б)

Рисунок 3. Вид оборудования на станциях сильных движений: а) KURK, б) MAKZ

В таблице 3 приведены параметры станций сильных движений. Кроме того, для анализа используются также цифровые записи трехкомпонентной станции MKAR (MK31) сейсмической группы Маканчи [10] (рисунок 1, таблица 3). На станции установлен чувствительный скважинный акселерометр, его динамический диапазон не позволяет регистрировать ускорения с амплитудами больше 0,4 см/с^2. Но, тем не менее, его использование позволяет улучшить статистику по данным СД, расширить территорию исследований. Станции СД MAKZ, KURK работают в триггерном режиме, MKAR в непрерывном режиме. Обработка данных проводится при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [11]. За время работы станций сильных движений были созданы каталоги параметров записей и соответствующих спектров реакции. Обработке подлежали все записи с Amax≥0,1 см/с^2.

Использованные материалы

В настоящее время база данных СД для района Восточного Казахстана содержит информацию по 150 записям землетрясений (рисунок 4). Записью считается сейсмограмма по всем имеющимся на приборе СД каналам. Всего зарегистрировано 142 землетрясения за период с 1996 г. до июля 2021 г. (рисунок 5). Диапазон магнитуд M землетрясений составляет от 1,1 до 8,4. Наибольшее количество очагов землетрясений, данные которых обработаны, расположены в Восточном Казахстане вблизи сейсмической станции Маканчи.



1 – mpv < 3; 2 – 3 ≤ mpv < 4; 3 – 4 ≤ mpv < 5;
4 – 5 ≤ mpv < 6; 6 – 6 ≤ mpv < 7; 7 – mpv ≥ 7

Рисунок 4. Карта эпицентров землетрясений, зарегистрированных станциями сильных движений ИГИ НЯЦ РК

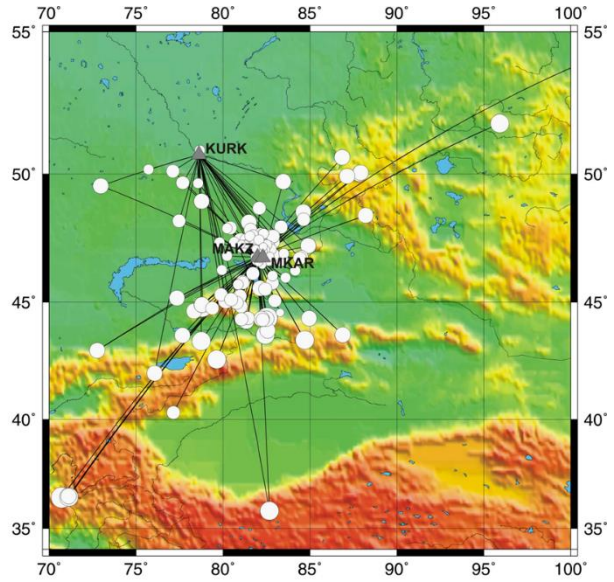


Рисунок 5. Карта расположения станций СД в Восточном Казахстане и эпицентры землетрясений, данные которых обработаны

Однако есть и удаленные землетрясения из районов Тянь-Шаня, Тибета, Гиндукуша [12] и даже Охотского моря [13] (рисунок 6, 7). Уникальное глубокофокусное событие с эпицентром в районе Охотского моря, 24 мая 2013 г., Mw=8,2 ощущалось практически на всей Земле на расстояниях до 8200 км от эпицентра, в том числе в таких крупных мегаполисах как Москва, Санкт-Петербург, Токио, Дели, Милан, Ченду, Дубаи [12]. На территории Казахстана землетрясение ощущалось в городах: Атырау – 5 баллов, Астана – 4 балла, Усть-Каменогорск, Курчатов – 3 балла, Алматы – 2–3 балла (рисунок 6) [12]. Удаленные глубокофокусные землетрясения с магнитудами больше 6,5, хотя и не вызывают разрушений, но могут ощущаться на территории Восточного Казахстана, особенно в высотных зданиях. Исследования по изучению воздействий удаленных глубокофокусных землетрясений необходимо продолжать в связи со слабой изученностью вопроса [13, 14].

Параметры сейсмических воздействий по станциям сильных движений ИГИ НЯЦ РК

По результатам регистрации сильных движений создана база данных, диапазон эпицентральных расстояний от 7 до 4883 км (рисунки 8, 9). Максимальное ускорение за исследуемый период цифровых наблюдений зарегистрировано при землетрясении 28 ноября 2002 г. с mb=4,8 станцией MAKZ на расстоянии 101 км от очага, Amax(EW)=5,6 см/с^2 (рисунок 10).

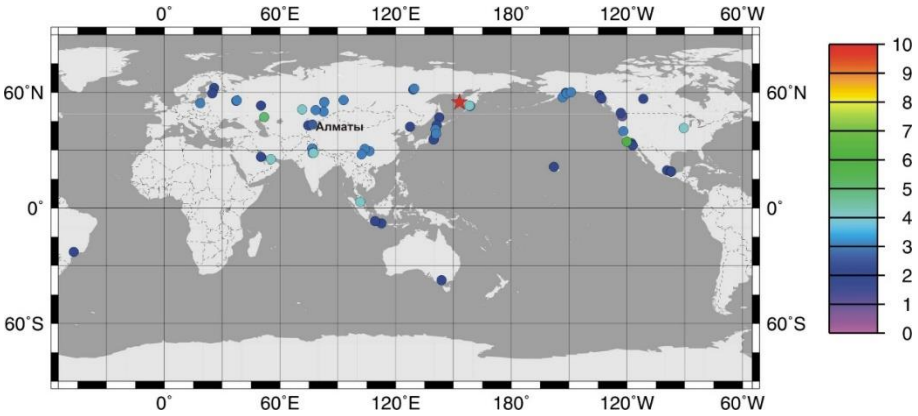


Рисунок 6. Карта интенсивности сотрясений землетрясения 24.05.2013 г.

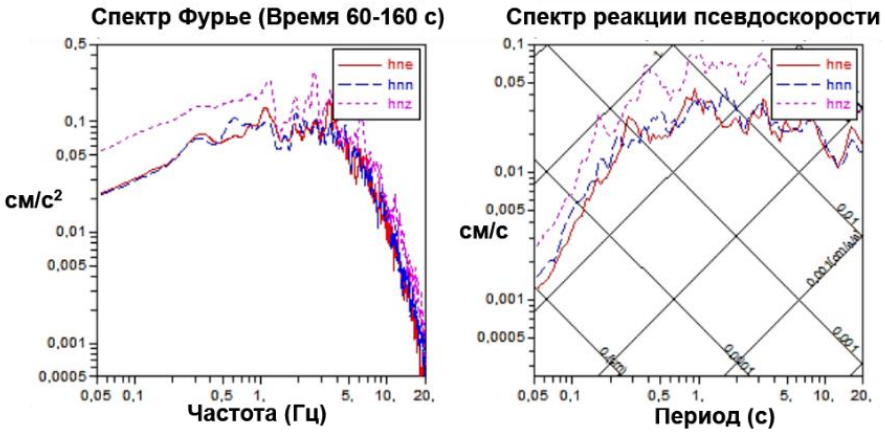


Рисунок 7. Спектры Фурье и реакции землетрясения 24.05.2013 г., станция MAKZ

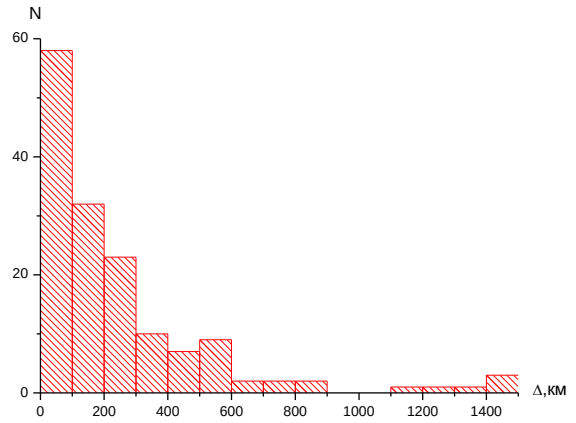


Рисунок 8. Гистограмма записей СД по станциям ИГИ НЯЦ РК по эпицентральным расстояниям

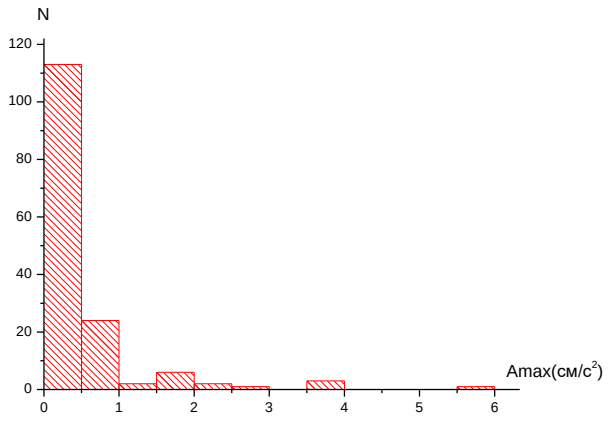


Рисунок 9. Гистограмма записей СД по станциям ИГИ НЯЦ РК по значениям максимального ускорения Amax

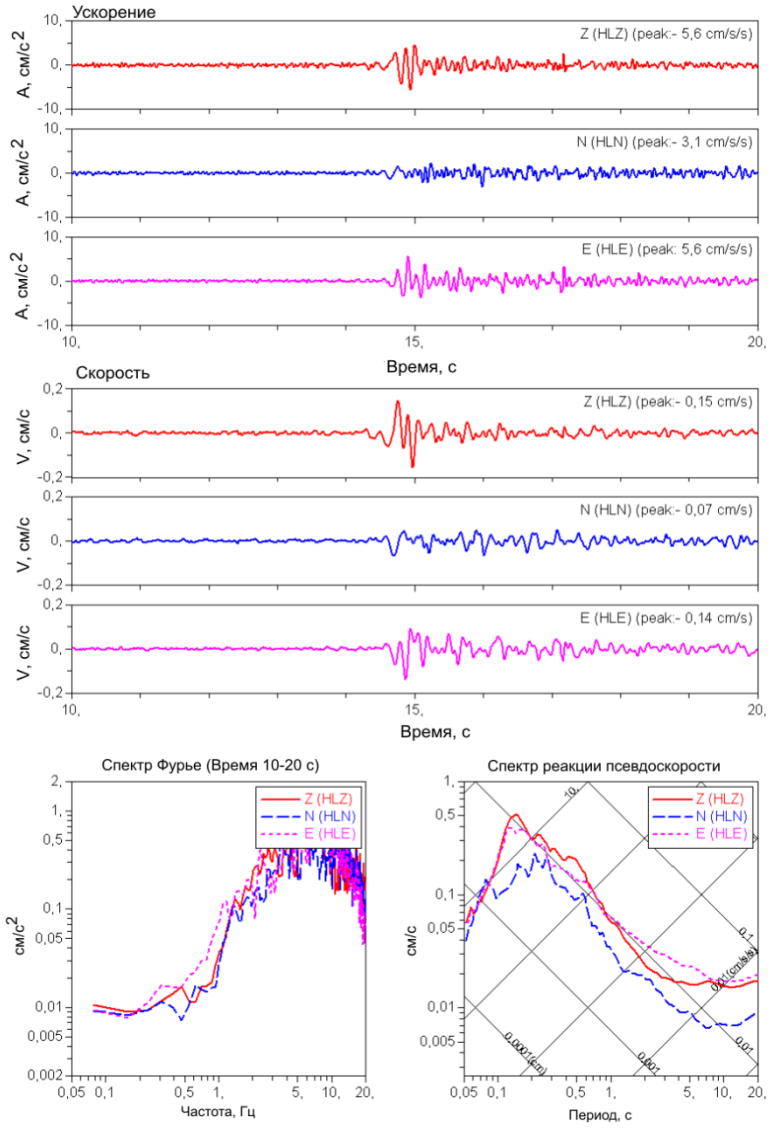


Рисунок 10. Записи СД и результаты их обработки для землетрясения 28 ноября 2002 г. с mb=4,8, станция MAKZ, эпицентральное расстояние 101 км

Таблица 4. Характеристика записей СД по станциям ИГИ НЯЦ РК

Станция	Количество событий	Период	Диапазон эпицентральных расстояний	Диапазон магнитуд	Amax, см/с²
MAKZ	124	1996–9.2021	7–4883 км	1,1–8,4	5,6
KURK	17	1996–9.2021	11–768 км	3,2–7	0,9
MKAR	9	2003–09.2021	161–859 км	4,5–5,9	0,4

В таблице 4 представлена характеристика записей СД по станциям. Наибольшее количество записей имеется по станции MAKZ.

На рисунке 11 представлено распределение по магнитудам и расстояниям всех полученных записей сильных движений сети ИГИ НЯЦ РК. Имеющаяся выборка демонстрирует скоррелированность значений расстояний и магнитуд: все сильные землетрясения зарегистрированы, как правило, на больших расстояниях, а на малых расстояниях имеются записи только слабых событий. Это распределение свидетельствует о том, что получить надежную зависимость для затуханий максимальных ускорений только по данным ИГИ НЯЦ РК для исследуемого региона пока невозможно.

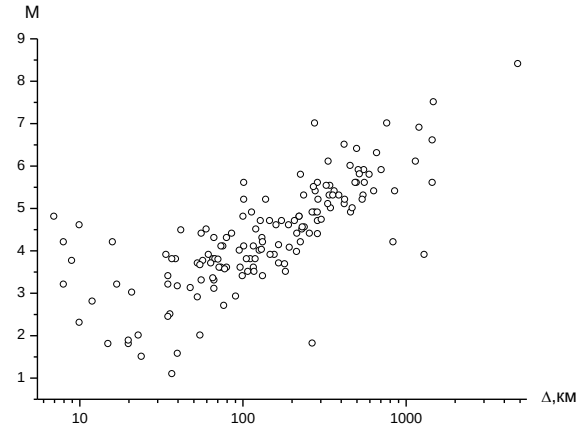


Рисунок 11. Распределение записей сильных движений по магнитудам и расстояниям

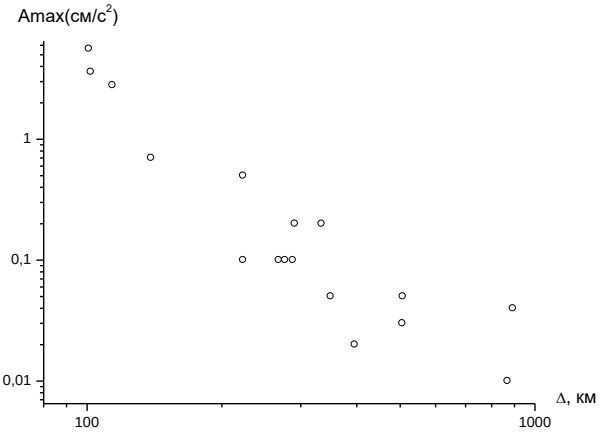


Рисунок 12. Зависимость максимальных амплитуд сильных движений от расстояния для землетрясений с магнитудами mb~5

На рисунке 12 представлена зависимость максимальных амплитуд сильных движений от расстояния для землетрясений с магнитудами mb=4,8÷5,2, зарегистрированных станцией MAKZ – видно, что амплитуды быстро затухают с расстоянием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создана база данных сильных движений, в которой содержатся цифровые записи и результаты обработки как аналоговых, так и цифровых станций из района Восточного Казахстана. В базу данных вошли более 150 записей по цифровым данным сети сильных движений ИГИ НЯЦ РК, а также по аналоговым станциям ИС МОН РК. на эпицентральных расстояниях 7–4883 км. Максимальное ускорение, равное 115 см/с², за этот период было получено станцией Буран для афтершока Зайсанского землетрясения в 1990 г.

2. Полученные данные – это лишь начало создания информационной базы для оценки сейсмической опасности района Восточного Казахстана в количественных характеристиках колебаний грунта. Их необходимо учитывать при поиске региональных соотношений затухания пиковых ускорений и колебательных скоростей, чтобы использовать в практическом аспекте при будущих работах по сейсмическому районированию территории Восточного Казахстана, а также при прогнозе сейсмических воздействий на площадках строительства АЭС и других ответственных объектов.

3. Актуальным является расширение сети станций сильных движений на территории Восточного Казахстана, в районе крупных городов и площадок размещения объектов атомной отрасли.

Статья подготовлена в рамках работ по ПЦФ «Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе». Шифр Ф.0980.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеканинский, И.В. Материалы о сейсмических явлениях в Семипалатинской губернии с 1760 по 1927 г. / И.В. Чеканинский / И.В. Чеканинский // Зап. Семипалатинского отдела ИРГО. Семипалатинск, 1927. − Вып. XVI. − С. 14–73.
2. Мушкетов, И.В. Каталог землетрясений Российской империи. / И.В. Мушкетов, А.П. Орлов // Типография Императорской Академии Наук, Санкт-Петербург, 1893. − 582 с.
3. Нурмагамбетов, А. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. / А. Нурмагамбетов, А. Садыков, А.В. Тимуш,

М.С. Хайдаров, А.А. Власова, Н.Н. Михайлова, М.М. Сабитов, А. Умирзакова, В.А. Гапич // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ГС РАН, 1996. – С. 54–60.
4. Еманов, А.Ф. Чуйское землетрясение 2003 года (M=7.5)/ А.Ф. Еманов, А.А. Еманов, Е.В. Лескова // Вестник НЯЦ РК. – 2009. – Вып. 3. − С. 134.
5. Михайлова, Н.Н. Землетрясения Северного Тянь-Шаня. / Н.Н. Михайлова, Н.П. Неверова // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ГС РАН, 1996. – С. 43−45.
6. Аранович, З.И. Основные типы сейсмометрических приборов / З.И. Аранович [и др.] // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. – М.: Наука, 1974. – С. 117.
7. Соколов, А.Н. Регистрация и база данных сильных движений на казахстанских станциях ядерного мониторинга. / А.Н. Соколов, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. − 2014. − Вып. 1. − С. 125−131.
8. Соколов, А.Н. Использование данных по сильным движениям для прогноза воздействий на площадки строительства ответственных объектов Казахстана. / А.Н. Соколов, Р.Б. Узбеков // Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов / ассоциация «Ядерное общество Казахстана» − Алматы. 2012. − С. 92–97.
9. Соколов, А.Н. Регистрация и база данных сильных движений по Казахстанским станциям ядерного мониторинга для оценки воздействий на ответственные промышленные объекты / А.Н. Соколов, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2013. − Вып. 3. − С. 125−131.
10. Mikhailova, N.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan / N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova / // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016 January-June. Vol. 53. Issue 1, 2019, p. 27–38.
11. Kashima T. 2002. ViewWave Help, IISEE, BRI.
12. Мусрепов, А.В. Очаг и последствия сильнейшего Гиндукушского землетрясения 26 октября 2015 г. (Mw=7,5) / А.В. Мусрепов, А.Н Соколов // Вестник НЯЦ РК. – 2016. – Вып. 4. − С. 62−69.
13. Мусрепов, А.В. Сейсмические эффекты от глубокофокусных землетрясений в дальней зоне / А.В. Мусрепов, А.Н Соколов // Материалы докладов X Международной конференции молодых ученых, 18–20 апреля 2018 г., г. Бишкек. – С. 104–111.
14. Михайлова, Н.Н. Сейсмическая опасность в количественных характеристиках колебаний грунта. Диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. Москва, 1996 г. – 250 с.

REFERENCES

1. Chekaninskiy, I.V. Materialy o seysmicheskikh yavleniyakh v Semipalatinskoy gubernii s 1760 po 1927 g. / I.V. Chekaninskiy / I.V. Chekaninskiy // Zap. Semipalatinskogo otdela IRGO. Semipalatinsk, 1927. − Issue XVI. − P. 14–73.
2. Mushketov, I.V. Katalog zemletryaseniy Rossiyskoy imperii. / I.V. Mushketov, A.P. Orlov // Tipografiya Imperatorskoy Akademii Nauk, Sankt-Peterburg, 1893. − 582 p.
3. Nurmagambetov, A. Zaysanskoe zemletryasenie 14 iyunya 1990 g. / A. Nurmagambetov, A. Sadykov, A.V. Timush, M.S. Khaydarov, A.A. Vlasova, N.N. Mikhaylova, M.M. Sabitov, A. Umirzakova, V.A. Gapich // Zemletryaseniya v SSSR v 1990 godu. – Moscow: GS RAN, 1996. – P. 54–60.
4. Emanov, A.F. Chuyskoe zemletryasenie 2003 goda (M=7.5)/ A.F. Emanov, A.A. Emanov, E.V. Leskova // Vestnik NYaTs RK. – 2009. – No. 3. − P. 134.
5. Mikhaylova, N.N. Zemletryaseniya Severnogo Tyan'-Shanya. / N.N. Mikhaylova, N.P. Neverova // Zemletryaseniya v SSSR v 1990 godu. – Moscow: GS RAN, 1996. – P. 43−45.
6. Aranovich, Z.I. Osnovnye tipy seysmometricheskikh priborov / Z.I. Aranovich [i dr.] // Apparatura i metodika seysmometricheskikh nablyudeniy v SSSR. – Moscow: Nauka, 1974. – P. 117.
7. Sokolov, A.N. Registratsiya i baza dannykh sil'nykh dvizheniy na kazakhstanskikh stantsiyakh yadernogo monitoringa. / A.N. Sokolov, N.N. Mikhaylova // Vestnik NYaTs RK. − 2014. − No. 1. − P. 125−131.
8. Sokolov, A.N. Ispol'zovanie dannykh po sil'nym dvizheniyam dlya prognoza vozdeystviy na ploshchadki stroitel'stva otvetstvennykh ob"ektov Kazakhstana. / A.N. Sokolov, R.B. Uzbekov // Yadernyy potentsial Kazakhstana: Sbornik dokladov / assotsiatsiya «Yadernoe obshchestvo Kazakhstana» − Almaty. 2012. − P. 92–97.
9. Sokolov, A.N. Registratsiya i baza dannykh sil'nykh dvizheniy po Kazakhstanskim stantsiyam yadernogo monitoringa dlya otsenki vozdeystviy na otvetstvennye promyshlennye ob"ekty / A.N. Sokolov, N.N. Mikhaylova // Vestnik NYaTs RK. – 2013. − No.3. − P. 125−131.
10. Mikhailova, N.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan / N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova / // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016 January-June. Vol. 53. Issue 1, 2019, p. 27–38.
11. Kashima T. 2002. ViewWave Help, IISEE, BRI.
12. Musrepov, A.V. Ochag i posledstviya sil'neyshego Gindukushskogo zemletryaseniya 26 oktyabrya 2015 g. (Mw=7,5) / A.V. Musrepov, A.N Sokolov // Vestnik NYaTs RK. – 2016. – No. 4. − P. 62−69.
13. Musrepov, A.V. Seysmicheskie effekty ot glubokofokusnykh zemletryaseniy v dal'ney zone / A.V. Musrepov, A.N Sokolov // Materialy dokladov X Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh, 18–20 aprelya 2018 g., g. Bishkek. – P. 104–111.
14. Mikhaylova, N.N. Seysmicheskaya opasnost' v kolichestvennykh kharakteristikakh kolebaniy grunta. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora fiz.-mat. nauk. Moscow, 1996 g. – 250 p.

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ ҚАТТЫ ҚОЗҒАЛЫСТАР АСПАПТАРЫНЫҢ ЖАЗБАЛАРЫ БОЙЫНША ТОПЫРАҚТЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕРІНІҢ САНДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Н.Н. Михайлова, А.Н. Соколов, И.Н.Соколова

ҚР ҰЯО РМК «Геофизикалық зерттеулер институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

Мақалада Шығыс Қазақстан ауданынан цифрлық жазбалар мен аналогтық және цифрлық станцияларды өңдеу нәтижелері бар күшті қозғалыстардың деректер базасы сипатталған. Деректер базасына күшті қозғалыстар желісінің сандық деректері бойынша, сондай-ақ 7–4883 км эпиорталық қашықтықтағы аналогты станциялар бойынша 150-ден астам жазбалар енді. 1990 жылы Зайсан жерсілкінулерінің кейінгі дүмпуі үшін Буран станциясы осы кезеңде барынша үдеуді алды.
Түйінді сөздер: *күшті қозғалыстар, Шығыс Қазақстан, қарқындылық, сейсмикалық әсерлер; сейсмикалық қауіп*.

QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF SEISMIC GROUND OSCILLATIONS BY STRONG MOTION RECORDS ON THE EAST KAZAKHSTAN TERRITORY

N.N. Mikhailova, A.N. Sokolov, I.N. Sokolova

Branch "Institute of Geophysical Research" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper describes the strong motions database that contains digital records and processing results of analogue and digital stations from the east Kazakhstan region. The database includes more than 150 records by digital data of the strong motion network, and by analogue stations at epicentral distance 7–4883 km. The peak acceleration for this period was recorded by Buran station for the aftershocks of Zaysan earthquake in 1990.
Keywords: *strong motion, East Kazakhstan, intensity, seismic impacts; seismic hazard.*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-36-42
УДК 539.2:539.1

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДОЗИМЕТРИИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА НА АЛАНИНЕ ДЛЯ ИЛУ-10 ИЯФ РК

Ж.Т. Мукан[1,2)], Т.А. Середавина[1)], Н.С. Сушкова[1)], И.В. Данько[1)], Н.В. Глущенко[1)]

[1)] Институт ядерной физики МЭ РК, Алматы, Казахстан
[2)] Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

E-mail для контактов: jmukan@inp.kz

Проведено экспериментальное исследование возможностей применения метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и аланиновых детекторов для контроля доз при технологических облучениях тормозным излучением на ускорителе ИЛУ-10 ИЯФ РК. Изучена стабильность сигнала и чувствительность оригинальных аланиновых детекторов, показана их работоспособность в стандартных режимах; в области малых доз тормозного излучения (0,005–1 кГр) для оценки доз использована калибровка по гамма-облучению, подтверждена перспективность аланиновой ЭПР-дозиметрии на ускорителе ИЛУ-10 ИЯФ РК.

Ключевые слова: *радиационные технологии (РТ), дозиметрический контроль, метод ЭПР дозиметрии, аланиновые детекторы, ускоритель электронов ИЛУ-10, парамагнитные центры (ПМЦ).*

Введение

Радиационные технологии все шире применяются в мировой практике для решения научных и технических задач. Исследования и технологические разработки в этой области проводятся в таких актуальных направлениях, как стерилизация медицинских изделий, обработка пищевых продуктов, обработка сельскохозяйственной продукции и вопросы дозиметрии. Для радиационной обработки используют гамма-излучатели Co-60 и Cs-137, ускорители электронов с энергией электронов до 10 МэВ, а также тормозное излучение, полученное на ускорителях с энергией электронов до 5 МэВ, дозы облучения находятся в пределах 0,05–10^6 Гр [1, 2].

Вопросы дозиметрии в радиационных технологиях специфичны, вследствие широкого интервала измеряемых доз, востребованности методов дозиметрии, отличающихся для высоких и относительно малых доз, причем для конкретной задачи используется, как правило, узкий дозовый диапазон.

Наиболее употребительна дозиметрия на основе спектроскопии в различной области частот. Среди методов, использующих твердотельные детекторы, ЭПР-дозиметрия, основанная на регистрации парамагнитных центров (ПМЦ), возникающих при облучении, отличается высокой чувствительностью, по сравнению, например, с пленочной дозиметрией в оптической области.

Более того, метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) относится к неразрушающим методам контроля, так как энергия воздействия мала при сравнении с тепловой, что естественным образом определяет такое достоинство метода ЭПР, как воспроизводимость, возможность неоднократных измерений, в отличие, например, от термолюминесцентных методов. Для дозиметрического контроля технологических облучений ВОЗ и МАГАТЭ рекомендуют ЭПР-дозиметрию на аланине на основе международных стандартов [3–5].

Метод ЭПР-дозиметрии развивался в ИЯФ РК в течение двух десятилетий [5], научные и технические аспекты ЭПР-дозиметрии по аланину всесторонне исследованы [5–7], в том числе в рамках проектов, финансированных МНТЦ и МОН РК. Разработаны состав и параметры детекторов в форме дозиметрических таблеток (ДТ) [6, 7], изучалось применение для дозиметрии нейтронного и гамма-излучения [6, 7], для развития ретроспективной дозиметрии облученных пищевых продуктов [8–11].

Сопровождение радиационной обработки медицинской и пищевой продукции на электронном ускорителе ЭЛВ-4 ИЯФ РК методом ЭПР-дозиметрии разрабатывалось с учетом требований стандартов и на основе предварительных исследований, получены полезные результаты [3, 4, 8–10].

Цель данной работы – экспериментальное исследование применимости ЭПР-дозиметрии на аланине на электронном ускорителе ИЛУ 10, в том числе в области малых доз тормозного γ-излучения.

Существуют различные составы и формы выпуска аланиновых дозиметров в разных фирмах, включая Bruker, поэтому объективно обусловлена и актуальна проверка чувствительности и стабильности сигнала в ДТ, разработанных в ИЯФ. Исследование возможностей внедрения ЭПР-дозиметрии на аланине для контроля технологических облучений на электронном ускорителе ИЛУ-10 в ИЯФ РК начато недавно [9, 11]. В работе обсуждаются результаты изучения чувствительности ЭПР-детекторов при облучениях на ИЛУ-10 ускоренными электронами и тормозным излучением в интересующем интервале доз. Работоспособность детекторов испытана в разных рабочих режимах, при работе с конвертором ДТ помещали в калибровочный фантом [12]. Эксперименты подтвердили длительную стабильность сигнала в аланиновых детекторах.

Актуальность темы обусловлена предполагаемым развитием направления по обработке сельхозпродук-

ции, например, семян для стимуляции всхожести либо подавления проращивания. Изучение работоспособности ЭПР-детекторов на аланине и стабильности сигнала в указанных условиях и интервале доз является актуальной задачей ЭПР-дозиметрии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Методика облучательного эксперимента

В качестве объекта исследования использованы дозиметрические таблетки (ДТ) на аланине, облученные на ИЛУ-10 тормозным излучением, полученным при конверсии ускоренных электронов с энергией 5 МэВ при средних токах электронного пучка от 0,26 до 6,12 мА через танталовый конвертер. В работе проведены облучательные эксперименты на электронном ускорителе ИЯФ ИЛУ-10. Задачей экспериментов была адаптация метода ЭПР-дозиметрии к контролю радиационной обработки сельскохозяйственной и пищевой продукции в области малых доз тормозного излучения (0,001–1 кГр). Для дозиметрического сопровождения проводимых экспериментов использовали детекторы в форме таблеток, разработанные в ИЯФ в рамках Проекта МНТЦ К 236 и Проекта МОН для контроля радиационных полей. Таблетированные дозиметры для экспериментов на ИЛУ-10 изготавливали прессованием при нагреве смеси порошков референсного материала аланина в заданном соотношении с нейтральным связующим, не дающим вклад в радиационный сигнал ЭПР.



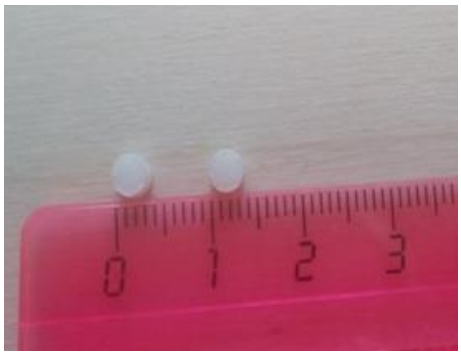
Рисунок 1. Общий вид конвейера ускорителя ИЛУ-10

ИЛУ-10 – стандартная технологическая установка, ускоритель электронов с системой сканирования пучка, с конвейером для дистанционной транспортировки упаковок с обрабатываемыми изделиями в зону облучения для стерилизации. Развёртка пучка осуществляется на ширину конвейера перпендикулярно к направлению движения. Общий вид выпускного устройства, а также стандартный калибровочный фантом для дозиметров из аланина [12] показаны на рисунках 1–2, как и размеры дозиметров из аланина, размещаемых в фантоме на площадке транспортера. Гамма-калибровочные фантомы используются обычно для проведения серийной калибровки дозиметров на установках гамма-облучения [12].

Стандартный калибровочный фантом для гамма-излучения GEX P1010, представленный на рисунке 2, служит для размещения с целью облучения аланина и обычных дозиметров и транспортировки в фиксированном геометрическом положении, согласно стандарту ISO/ASTM 51261.



а)



б)

Рисунок 2. Калибровочный фантом GEX P1010 для электронного пучка 5 МэВ (а) и размещаемые образцы детекторов (б)

Для экспериментов по калибровке дозы при обработке тормозным излучением были приготовлены серии контрольных дозиметрических таблеток. Проведено двадцать облучательных экспериментов, условия которых отличались, что учитывалось при сравнении (изменялся средний ток пучка, скорость конвейера и время нахождения образцов под пучком не изменялись).

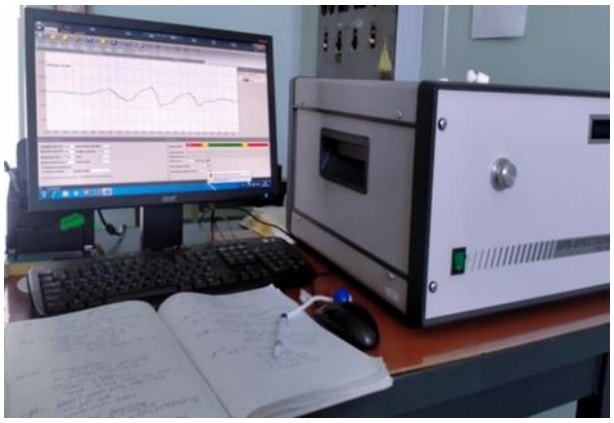
Условия облучения ДТ на ИЛУ-10 варьировали в соответствии с рабочими режимами: энергия ускоренных электронов в пучке 5 МэВ, импульс тока (30÷350 мА), частота тока в диапазоне 17÷35 Гц, средний ток (0,26÷6,12 мА), скорость (8 см/с). Заданный интервал доз обеспечивался путем изменения тока пучка электронов, попадающего на танталовый конвертер.

Регистрация спектров

Спектры ЭПР облученных детекторов из аланина регистрировали на спектрометрах в X-диапазоне, показанных на рисунке 3: ESP300E фирмы Bruker (Германия) со сферическим резонатором и ESR70-03XD/2 (Белоруссия), в обоих случаях использовали возможности реализации чувствительности спектрометра.



а)



б)

Рисунок 3. Общий вид спектрометров ESP300E (Bruker, Германия) (а), ESR70-03XD/2 (Белоруссия) (б)

Как принято в ЭПР-дозиметрии, для корректной информации о содержании парамагнитных центров (ПМЦ) выбраны оптимальные параметры регистрации спектров дозиметрических таблеток, приведенные в таблице 1, для сравнения даны условия записи для дозиметров фирмы Bruker [13].

Для получения информации о дозе измерялась величина амплитуды центральной компоненты сигнала ЭПР аланина. Аланин как твердотельная кислота имеет 2 изомера, обозначаемых согласно D, L-номенклатуре, оба используют в дозиметрии. При облучении аланина образуются радиационные ПМЦ – стабильные радикалы, регистрируемые методом ЭПР, дозовая зависимость сигнала ЭПР для аланина линейна в интервале доз до 10^5 Гр. Спектр ЭПР детекторов дозы из L,α-аланина, применяемого ИЯФ, по параметрам соответствует спектрам стандартных дозиметров, выпускаемых Bruker и другими известными фирмами, особенности радиационной чувствительности и сигналов аланина обсуждены в [13], сигнал виден на рисунке 3. Особенность аланиновой дозиметрии – аланин чувствителен только к дозе, но не другим характеристикам гамма-облучения.

Таблица 1. Параметры регистрации спектров дозиметрических таблеток ИЯФ и дозиметров фирмы Bruker

Характеристики	Детекторы ИЯФ РК	Дозиметры фирмы Bruker
Частота, ГГц	9,65	9,82
Микроволновая мощность, МВт	8	1
Центр поля / развертка поля, Гс	3434,85 / 150	3490 / 200
Модуляция, Гс / частота модуляции, кГц	2,64 / 100	3 / 100
Коэфф. усиления на частоте модуляции	40 000	4 000
Время сканирования / записи, с	42 / 126	80 / 80
Разрешение по полю / скан	1024 / 3	1024 / 1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Дозиметрия электронного излучения на ускорителях на основе метода ЭПР имеет свои особенности – спектр и диапазон энергий, градиент дозового поля и, соответственно, дозы по объему твердотельного дозиметра, что было изучено и показано в наших работах, и поэтому ряд технологических задач более эффективно решается с применением тормозного излучения.

Для корректной ЭПР-дозиметрии при облучениях на ИЛУ-10 использован метод линейной калибровки спектрометра, с целью получения калибровочной зависимости приготовлена серия контрольных детекторов.

Предварительно проводились эксперименты для подтверждения стабильности сигнала ЭПР от детекторов [7], выполнены измерения радиационного сигнала в аналогичных аланиновых детекторах, облученных ранее на ускорителе Elektronika linac, INCT, Варшава, Польша, электронами 5 МэВ [14]. Результаты, полученные в неоднократных сериях измерений сигналов, проведенных в ИЯФ РК, представлены в таблице 2.

Величины сигналов ЭПР в ДТ при повторной регистрации отличаются от исходных на 4–6% за два года, даже без учета разницы в условиях выполнения измерений (температура, влажность) и, возможно, в условиях хранения дозиметров, отклонения находятся в пределах погрешности эксперимента (от 10%) для малых доз.

Таблица 2. Сигналы ЭПР в ДТ из аланина при первичном и повторных измерениях

результаты 2021 г.					
Доза облучения, кГр	**Масса табл., мг.**	**Амплитуда сигнала ЭПР**		**Ср. привед. амплитуда**	**Отклонение*, %**
		2014 г.	**2021 г.**		
2	155,9	9700	12800	11250	+4,5
4	131,1	20400	20900	20650	+2,4
8	143,7	39700	36700	38200	−7,6
10	130,4	52200	47900	50050	−8,3
результаты 2016 г.					
Доза облучения, кГр	**Масса табл., мг.**	**Амплитуда сигнала ЭПР**		**Ср. привед. амплитуда**	**Отклонение*, %**
		2014 г.	**2016 г.**		
15	122,0	75000	73600	74300	−1,9
35	121,5	172000	166000	169000	−3,6
50	128,4	228000	216000	222000	−5,4

** – в интервале сравнительно небольших доз (2–4 кГр) отклонения сигнала до ~2–4%,*
в интервале доз 8–10 кГр и более отмечен спад сигнала до ~4–8% до равновесного состояния.

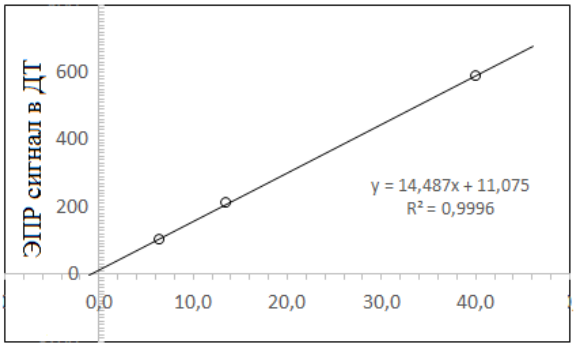
Полученные результаты подтвердили достаточную стабильность сигнала в ДТ из аланина, что позволило провести рекогносцировочное изучение радиационного поля электронного ускорителя ЭЛВ-4 в стационарном режиме и показать, что дозиметры применимы для оперативного контроля доз, используемых при стерилизации.

Получение калибровочной зависимости в интервале малых доз на ИЛУ-10

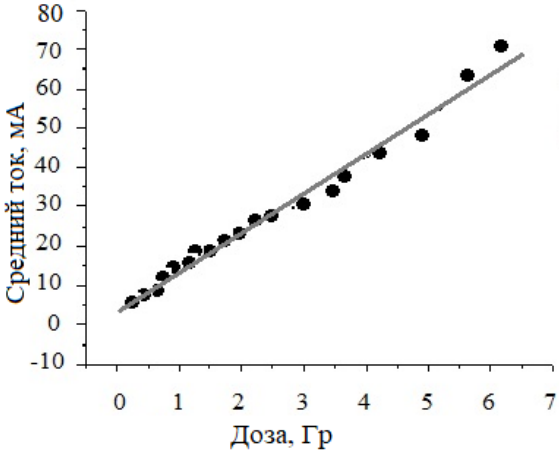
Для оценок дозы облучения на ИЛУ-10 методом линейной калибровки спектрометра серия приготовленных контрольных ДТ была облучена дозами 6,5÷40 Гр на гамма-установке Cs-137, привязанной к вторичному эталону МАГАТЭ в 2004 г. и прошедшей техническое освидетельствование в ИЯФ в 2021 г.

Измерения выполнены на спектрометре ESP300E при оптимальных параметрах регистрации (Таблица), для существенного повышения чувствительности спектрометра использовано многократное сканирование; математическая обработка полученных спектров включала сглаживание шумов, вычитание фонового сигнала, коррекцию базовой линии и т.д. Использованные условия регистрации: мощность СВЧ-излучения 16 мВт, амплитуда модуляции 0,47 мТл, развертка магнитного поля 2,4 мТл, время конверсии 5,24 мс. По результатам трехкратных измерений спектров получена калибровочная дозовая зависимость амплитуды ЭПР-сигналов ДТ по трем дозам гамма-излучения Cs-137 (рисунок 4, а).

Затем для серии из 20 дозиметрических таблеток проведены облучения тормозным излучением на ускорителе ИЛУ-10 с танталовым конвертером, с заданным повышением дозовой нагрузки путем изменения тока пучка. Ток пучка изменялся путем изменения тока импульса в диапазоне 30÷350 мА, частоты импульса в диапазоне 17–35 Гц. Условия облучения на ИЛУ-10: энергия пучка электронов – 5 МэВ, средний ток пучка ускоренных электронов – 0,26÷6,12 мА. Спектры ЭПР испытуемых образцов получены при условиях, выбранных для контрольных образцов, измерены ЭПР-сигналы.



а) градуировочная зависимость «сигнал ЭПР в ДТ / доза гамма-облучения на Cs-137»



б) – зависимость «средний ток пучка электронов на ИЛУ-10 /доза по сигналу в ДТ»

Рисунок 4. Калибровочные зависимости: оценки доз на ИЛУ-10/средний ток и доза/сигнал на ДТ, облученных на Cs-137

По калибровочной зависимости для гамма-облучения найдены экспериментальные дозы контрольных образцов. Зависимость дозы облучения, регистрируемой по амплитуде сигналов на ДТ, от среднего тока пучка ускоренных электронов $I_{ср}$ при облучении на ускорителе электронов ИЛУ-10 с конвертором показана на рисунке 4, б.

Величина среднего тока $I_{ср}$ задается путем изменения тока импульса и частоты импульса. Точки 1–13 на кривой, представленной на рисунке 4, б, получены в результате экспериментов, в которых величина поглощенной дозы изменялась путем изменения тока импульса. Точки 14–20 получены в результате экспериментов, в которых величина поглощенной дозы изменялась путем изменения частоты импульсов.

Величина тока пучка ускоренных электронов измерялась, регистрировалась и контролировалась в каждом эксперименте.

Из сравнения полученных данных следует, что изменение тока импульса незначительно повлияло на величины ЭПР сигналов, тогда как влияние частоты импульсов в большей степени влияет на ЭПР сигнал. Тем не менее, использование линейной аппроксимации позволяет вполне удовлетворительно описать экспериментальную зависимость дозы от среднего тока пучка ускоренных электронов, попадающих на танталовый конвертер. Полученные данные позволяют сделать вывод, что величина поглощенной дозы имеет линейную зависимость от среднего тока пучка ускоренных электронов, попадающих на танталовый конвертер.

Таким образом, экспериментальные данные подтвердили принципиальную возможность применения дозиметрии на аланине для сопровождения технологических режимов обработки тормозным излучением на ускорителе ИЛУ-10. Контрольные измерения отдельных точек помогают уточнить полученные зависимости. Отклонения от линейности частично можно объяснить возможной нестабильностью резонансных условий, колебаниями температуры и влажности в разных сериях измерений ЭПР-спектров. Предполагается дальнейшее исследование, с целью выявления факторов, влияющих на отклонения и повышение точности измерений путем уменьшения вклада случайных погрешностей.

Выводы

Изучена возможность применения аланиновых ЭПР-дозиметров на электронном ускорителе ИЛУ-10 для сопровождения технологических облучений тормозным излучением пищевой и сельскохозяйственной продукции.

Показана эффективность дозиметров из аланина, применяемых в ИЯФ, для оперативного и ретроспективного радиационного контроля, изучены практические аспекты, выявлены трудности внедрения ЭПР-дозиметрии и пути их устранения.

Интерпретация данных ЭПР-дозиметрии на ускорителе ИЛУ10 в области малых доз тормозного излучения (0,005–1 кГр) опиралась на калибровочные данные для гамма-облучения. Подтверждена возможность получения уточненной калибровочной зависимости при контролируемых параметрах электронного и тормозного излучения.

Показана линейная зависимость величины поглощенной дозы от величины среднего тока пучка ускорителя ИЛУ-10, на основании чего можно сделать вывод, что величина ЭПР-сигнала не зависит от энергии гамма-квантов, поглощенная доза пропорциональна силе тока.

Литература

1. Алимов, А. С. Практическое применение электронных ускорителей [ВИИЯФ им. Д. В. Скобельцына] / А. С. Алимов. – http://www.knigi.konflib.ru/8bezopasnost/66691.
2. Delincée, M. H. / Food Irradiation – Chemical Aspects. European School of Advanced Studies on Nuclear and Ionizing Radiation Technologies. // University of Pavia. – April 2005. – 43 p.
3. ISO/ASTM №51607; ASTM Standard E1607 “Standard Practice for Use of the Alanine EPR Dosimetry System”.
4. ГОСТ 31652-2012. Продукты пищевые. Метод электронного парамагнитного резонанса для выявления радиационно-обработанных продуктов, содержащих кристаллический сахар. – Введ, 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013.
5. Pivovarov, S. Some peculiarities and complications of ESR dosimetry in high dose / S. Pivovarov, A. Rukhin, T. Seredavina et al. // Techniques for High Dose Dosimetry. IAEA-TECDOC-1070. – 1999. – С. 221–226.
6. Пивоваров, С.П. Изучение свойств ЭПР аланина, облученного нейтронами / С.П. Пивоваров, С.В. Жданов, Т.А. Середавина, и др. // Тезисы докл. 3-й межд. науч. конф. «Ядерная и радиационная физика», 4–7 июня 2001 г., Алматы, Казахстан / [Отв. ред. К. К. Кадыржанов]. – Алматы, 2001. – С. 448.
7. Пат. № 13594 РК. Способ измерения дозы нейтронного облучения и индивидуальный дозиметр /. Пивоваров, С.П., Павшук В.А., Кадыржанов К.К. и др., 2011.
8. Середавина, Т.А. Возможности ЭПР-дозиметрического контроля радиационной обработки пищевой и медицинской продукции / Т.А. Середавина, А.Б. Рухин, Ж.Т. Мукан и др. // Тезисы докл. VII межд. науч.-практ. конф. «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития», 21–23 сент. 2016 г., Курчатов, Казахстан. – Курчатов, 2016. – С. 85–86.
9. T.Seredavina, O.Stakhov, N.Sushkova, A.Nurkasymova. EPR-investigation of irradiated imported foodstuff and parameters of EPR signals. Eurasian Chemical Technological Journal. 2012. V.14, №4. P.343-349.
10. Seredavina, T.A. Study of Irradiated Food Products and Control by EPR Method in the Kazakhstan Republic / T.A Seredavina, N.S. Sushkova, A.B. Rukhin, Zh.T. Mukan // Proceedings of 3rd International Conference on Food and Biosystems Engineering. Rhodes, Greece. – 2017. – P. 260–263.

11. Рухин, А.Б. Адаптация аланиновой ЭПР-дозиметрии к условиям технологических облучений электронами в ИЯФ РК / Рухин, А.Б., Середавина Т.А., Сушкова Н.С., Мукан Ж.К. // Тезисы докл. межд. науч. форума «Ядерная наука и технологии», посвящ. 60-летию Института ядерной физики (11-я межд. конф. «Ядерная и радиационная физика»; межд. конф. «Ядро-2017» (67-е Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра); 8-я Евразийская конф. «Ядерная наука и ее применение»), 12–15 сентября 2017 г., Алматы, Казахстан / [Отв. ред. Е. А. Кенжин]. – Алматы: РГП ИЯФ, 2017. – С. 329–330.
12. ISO/ASTM 51261 – Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing.
13. Иванников А. Сигналы в аланине при альфа- и гамма-облучении. Радиация и риск. – Обнинск. – 2016. – Т. 25, – №1. С. 85–93.
14. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw, Poland. Official web-site – http://www.ichtj.waw.pl/ichtj/

REFERENCES

1. Alimov, A. S. Prakticheskoe primenenie elektronnykh uskoriteley [BIIYaF im. D. V. Skobel'tsyna] / A. S. Alimov. – http://www.knigi.konflib.ru/8bezopasnost/66691.
2. Delincée, M. H. / Food Irradiation – Chemical Aspects. European School of Advanced Studies on Nuclear and Ionizing Radiation Technologies. // University of Pavia. – April 2005. – 43 p.
3. ISO/ASTM №51607; ASTM Standard E1607 “Standard Practice for Use of the Alanine EPR Dosimetry System”.
4. GOST 31652-2012. Produkty pishchevye. Metod elektronnogo paramagnitnogo rezonansa dlya vyyavleniya radiatsionno-obrabotannykh produktov, soderzhashchikh kristallicheskiy sakhar. – Vved, 2013-07-01. – Moscow: Standartinform, 2013.
5. Pivovarov, S. Some peculiarities and complications of ESR dosimetry in high dose / S. Pivovarov, A. Rukhin, T. Seredavina et al. // Techniques for High Dose Dosimetry. IAEA-TECDOC-1070. – 1999. – P. 221–226.
6. Pivovarov, S.P. Izuchenie svoystv EPR alanina, obluchennogo neytronami / S.P. Pivovarov, S.V. Zhdanov, T.A. Seredavina, i dr.// Tezisy 3-y mezhd. nauch. konf. “Yadernaya i radiatsionnaya fizika”, 4–7 june 2001, Almaty, Kazakhstan. – Almaty, 2001. – P. 448.
7. Pat. No 13594 RK. Sposob izmereniya dozy neytronnogo oblucheniya i individual'nyy dozimetr /. Pivovarov, S.P., Pavshuk V.A., Kadyrzhanov K.K. i dr., 2011.
8. Seredavina, T.A. Vozmozhnosti EPR-dozimetricheskogo kontrolya radiatsionnoy obrabotki pishchevoy i meditsinskoy produktsii / T.A. Seredavina, A.B. Rukhin, Zh.T. Mukan i dr. // Tezisy VII mezhd. nauchno-praktich. konf. “Semipalatinskiy ispytatel'nyy poligon. Radiatsionnoe nasledie i perspektivy razvitiya”, 21–23 sept. 2016, Kurchatov, Kazakhstan. – Kurchatov, 2016. – P. 85–86.
9. T.Seredavina, O.Stakhov, N.Sushkova, A.Nurkasymova. EPR-investigation of irradiated imported foodstuff and parameters of EPR signals. Eurasian Chemical Technological Journal. 2012. V.14, №4. P.343-349.
10. Seredavina, T.A. Study of Irradiated Food Products and Control by EPR Method in the Kazakhstan Republic / T.A Seredavina, N.S. Sushkov, A.B. Rukhin, Zh.T. Mukan // Proceedings of 3rd International Conference on Food and Biosystems Engineering. Rhodes, Greece. – 2017. – PP. 260–263.
11. Rukhin, A.B. Adaptatsiya alaninovoy EPR-dozimetrii k usloviyam tekhnologicheskikh oblucheniy elektronami v IYaF RK / Rukhin, A.B., Seredavina T.A., Sushkova N.S., Mukan Zh.K. // Tezisy dokl. mezhd. nauch. foruma “Yadernaya nauka i tekhnologii”, posvyashch. 60-letiyu Instituta yadernoy fiziki (11-ya mezhd. konf. “Yadernaya i radiatsionnaya fizika”; mezhd. konf. “Yadro-2017” (67-e Soveshchanie po yadernoy spektroskopii i strukture atomnogo yadra); 8-ya Evraziyskaya konf. “Yadernaya nauka i ee primenenie”), 12–15 sentyabrya 2017 g., Almaty, Kazakhstan / [Otv. red. E. A. Kenzhin]. – Almaty: RGP IYaF, 2017. – P. 329–330.
12. ISO/ASTM 51261 - Standard Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing.
13. Ivannikov A. Signaly v alanine pri alpha- i gamma-obluchenii. Radiatsiya i risk. – Obninsk. – 2016. – Vol. 25, – No. 1. – P. 85–93.
14. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw, Poland. Official web-site – http://www.ichtj.waw.pl/ichtj/

ҚР ЯФИ ИЛУ-10-ДА ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ СӘУЛЕЛЕНУ КЕЗІНДЕГІ ДОЗАЛАРДЫ БАҒАЛАУ ҮШІН АЛАНИНДІ ЭПР-ДОЗИМЕТРИЯНЫҢ МҮМКІНДІКТЕРІ

Ж.Т. Мукан[1,2)], Т.А. Середавина[1)], Н.С. Сушкова[1)], И.В. Данько[1)], Н.В. Глущенко[1)]

[1)] Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан
[2)] Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

Электрондық парамагниттік резонанс (ЭПР) әдісін мен ҚР ЯФИ ИЛУ10 үдеткішінде технологиялық сәулелену кезіндегі дозаларды бақылау үшін аланинді детекторларды қолдану мүмкіндіктеріне эксперименттік зерттеу жүргізілді. Сигналдың тұрақтылығы және бірегей аланинді детекторлардың сезімталдығы зерттелді, олардың стандартты режимдердегі жұмыс қабілеттілігі көрсетілді; тежегіш сәулеленудің аз дозалары аумағында (0,005–1 кГр) дозаларды бағалау үшін гамма-сәулелену бойынша калибрлеу қолданылды. Алынған нәтижелер ҚР ЯФИ ИЛУ10 үдеткішінде аланинді ЭПР - дозиметрияның келешегі бар екендігін растады.

Түйін сөздер: *радиациялық технологиялар (РТ), дозиметриялық бақылау, ЭПР-дозиметрия әдісі, аланинді детекторлар, ИЛУ-10 электронды үдеткіші, парамагнитті орталықтар (ПМО).*

STUDY OF DOSIMETRY POSSIBILITIES USING ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE ON ALANINE FOR ILU-10 ACCELERATOR INP RK

Zh.T. Mukan[1,2)], T.A. Seredavina[1)], N.S. Sushkova[1)], I.V. Danko[1)], N.V. Glushchenko[1)]

[1)] Institute of Nuclear Physics ME RK, Almaty, Kazakhstan
[2)] L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-sultan, Kazakhstan

Experimental studying possibilities of the electron paramagnetic resonance (EPR) method application for the dose control using alanine deteectors in the process of technological irradiations with brake radiation at the accelerator ILU-10 INP RK has been carried out. The EPR signal stability and sensitivity of original alanine detectors have been studied, serviceability in standard modes was shown in the range of small doses of brake irradiation (0,005–1 kGy); for dose estimation the calibration on gamma-irrdiation was used. The obtained data confirmed the promise of alanine EPR dosimetry at the ILU-10 accelerator INP RK.

Keywords: *radiation technologies (RT), dosimetric control, EPR-dosimetry method, alanine detectors, electron accelerator ILU-10, paramagnetic centers (PMC).*

https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-43-45
УДК 502.51:627.15:539.16:546(045) (571.150)

ENVIRONMENTAL STATE OF SURFACE WATERS AND BOTTOM SEDIMENTS IN WATER BODIES OF THE SOUTHWESTERN PART OF THE ALTAI TERRITORY

O.Yu. Korovina, V.A. Somin

Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering of Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

E-mal for contacts: korano@mail.ru

Ecological research findings on surface waters and bottom sediments in water bodies of the southwestern part of the Altai Territory are presented. Samples were collected and analyzed between 2020 and 2021. Activities of natural (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) and artificial (^{241}Am, $^{239+240}$Pu, ^{137}Cs and ^{90}Sr) radionuclides were determined in bottom sediments, research into the content of heavy metals (copper, zinc, lead and cadmium) in surface waters and bottom sediments was undertaken. As a result, it was found that radiation parameters of bottom sediments in water bodies of the southwestern part of the Altai Territory did not exceed the regulatory level. No residual nuclear plumes at the Semipalatinsk Test Site are currently detected in water of water bodies of interest. The content of heavy metals in bottom sediments does not correspond to the regulatory level. Ground water contamination with heavy metals was not detected.

Keywords: *artificial and natural radionuclides, heavy metals, surface waters, bottom sediments, southwestern part of the Altai Territory.*

INTRODUCTION

The area of the southwestern part the Altai Territory the 50s through the late 80s of the last century was exposed to various man-made impact, which resulted in currently existing adverse ecological situation.

Natural resources of the Territory allow development of two main economy branches: agriculture and industry. Industrial enterprises are located in in big cities of the Territory: Barnaul, Biysk, Rubtsovsk, Zarinsk, Gornyak. In the countryside, animal husbandry waste, fertilizers and toxic chemicals that are applied in the field and get into natural waters mainly by being washed out of soils, are a source of both environmental and natural water contamination.

Some of settlements of the Loktyovsk, Rubtsovsk, Zmeinogorsk, Krasnoschyokovsk, Kurinsk, Pospelikhinsk and Uglovsk regions of the Altai Territory, as reported by the Order of the Government of the Russian Federation No. 162-R dated February 10, 1994 [1] came under a zone, in which the population received a total effective exposure dose from 50 mSv to more than 250 mSv due to a nuclear test dated on August 29, 1949, while the normal annual exposure dose to the public is 1 mSv on average over any consecutive 5 years but not higher than 5 mSv per annum.

Many researchers of the Russian Federation and Kazakhstan were engaged in studying the content of radionuclides in different environmental compartments including in water bodies. Known publications are by I. Kolyado, A. Smagin, A. Trapeznikov and his disciples [2, 3, 4] concerning radiation research into water bodies contaminated with radioactive substances during anthropogenic activities. However, the review of scientific papers showed that no research into bottom sediments of water bodies in nuclear fallout plumes was undertaken over the entire period since testing at the Semipalatinsk Test Site.

As part of ongoing research, data on radiation parameters of bottom sediments in water bodies of the Altai Territory in its southwestern part was obtained for the first time: the Nikitikha, Krutishka, Korbolikha rivers as well as Lakes Gorkoye and Gorkoye-Peresheyechnoye (see Figure). Besides, figures on the level of heavy metal (copper, zinc, lead and cadmium) concentrations in water and bottom sediments in question were obtained.

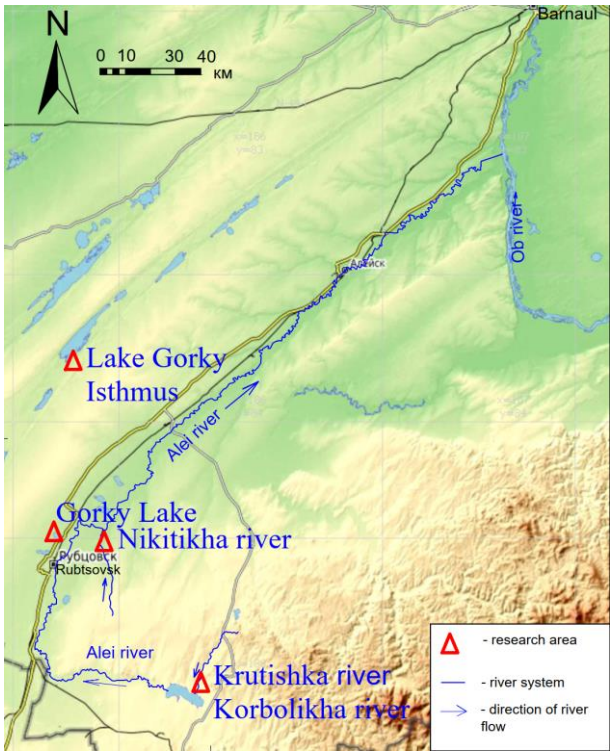


Figure. Schematic locations of research objects

RESEARCH TECHNIQUES

For research, up-to-date analytical techniques that allowed correct data to be obtained on the content of natural and artificial radionuclides, heavy metals in environmental compartments were applied.

Measurements of alpha- and beta particle fluences above surfaces of bottom sediments were performed in the field using a dosemeter-radiometer μS-03SA.

Activities of ^{241}Am and ^{137}Cs in samples of bottom sediments were assessed with a gamma-spectrometer ORTEC GEM25P4-70. The content of ^{90}Sr in a sample was determined by daughter ^{90}Y following radiochemical isolation with a beta-spectrometer TRI-CARB 3110TR PerkinElmer. Plutonium isotopes ($^{239+240}$Pu) were measured with an alpha-spectrometer Alpha Analyst A1200-32AM CANBERRA following a counting sample preparation by extraction-chromatography isolation and electrolytic precipitation.

Research into bottom sediments and water for the content of heavy metals was undertaken using an atomic absorption spectrometer PinAAcle 900t.

Research objects are minor water streams and lakes south-west of the Altai Territory (the Nikitikha, Krutishla and Korbolikha rivers, Lakes Gorkoye and Novoyegoryevskoye). One water sample (deeper than 0.5 m) and one bottom sediment sample across the entire layer thickness were collected from each water body.

RESULTS AND DISCUSSION

As a result of the analysis of water samples from the Nikitikha, Krutishka and Korbolikha, concentrations of heavy metalsв (copper, zinc, lead and cadmium) in there were found to be low without exceeding MPC. Analytical data on bottom sediments in these rivers showed that the health standard established for soils is exceeded by 1.14 to 2.11 times. In bottom sediments of Lakes Gorkoye and Gorkoye-Peresheyechnoye, the content of heavy metals also exceeds the MPC regulatory level by 1.24 to 2.09.

According to field research, the gamma dose rate in bottom sediments of the Gorkoye-Peresheyechnoye varied from 0.10 to 0.12 μSv/h, that of the Gorkoye – 0.14 to 0.15 μSv/h, the Nikitikha – 0.13 to 0.15 μSv/h, the Krutishka– 0.18 to 0.19 μSv/h, the Korbolikha – 0.11 to 0.12 μSv/h. Beta-particle fluence above surfaces of bottom sediments in Lake Gorkoye-Peresheyechnoye is (beta-particles)/(min·cm^2) – 1.3, Lake Gorkoye – 1.8, the Nikitikha – 1.9, the Krutishka – 3.3, the Korbolikha – 0.5.

Rapid studies of bottom sediments showed no excess of radiation indicators (dose rate and beta-particle fluence).

Laboratory research findings showed that at this point in time, the content of artificial radionuclides ^{137}Cs and ^{241}Am produced during nuclear tests and reactor fission is less than 1 Bq/kg in bottom sediments of water bodies of the southwestern part of the Altai Territory. The exception are bottom sediments of Lake Gorkoye-Peresheyechnoye and the Nikitikha river containing 2 Bq/kg of ^{137}Cs. Activities detected correspond to the global fallout background and cannot be definitely identified as residual radioactivity from fallout plumes of the Semipalatinsk Nuclear Test Site.

The content of ^{90}Sr in bottom sediments was detected in Lake Gorkoye to a research depth of 0.4 m in the Nikitikha.

Plutonium isotopes were detected in bottom sediments of all water bodies of interest. $^{239+240}$Pu activity in bottom sediments varies from 3.7 to 5.8 Bq/kg.

The content of natural radionuclides (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) in bottom sediments corresponds to the natural level, a standardized radioactivity indicator of NRN – the effective activity concentration (A_{eff}) of test samples varied from 69 to 136 Bq/kg, which does not exceed the regulatory level (370 Bq/kg, [5]).

CONCLUSION

Research findings showed that the content of artificial and natural radionuclides in bottom sediments of water bodies in the southwestern part of the Altai Territory does not exceed the regulatory level. No residual nuclear plumes at the Semipalatinsk Test Site are currently detected in water of water bodies of interest. In water of water bodies, the content of heavy metals does not exceed the permissible level whereas an excess of the health standard by up to 2 times was registered in bottom sediments.

Taking into account findings, authors decided to sample and undertake research into water and bottom sediments of other water bodies south-west of the Altai Territory so as to obtain a complete picture of radioactive contamination of bottom sediments in lakes and rivers being economically important to reduce social strain related to ecological issues of the region.

REFERENCES

1. On the list of settlements in the Altai Territory that were affected by radiation from nuclear tests at the Semipalatinsk Test Site (as modified dated February 8, 2002). The Order of the Russian Federation Government dated February 10, 1994 No. 162-r.
2. Kolyado, I.B. Nuclear consequences at the Semipalatinsk Test Site and novelty in the operation of the Altai Medical and Dosimetric Registry / I. B. Kolyado, S. V. Plugin, B. Yu. Konpvalov // Agrarian science for agriculture: Collected articles in 3 books (Barnaul, February 4–5, 2016). – Barnaul: Altai State Agrarian University, 2016. P. 296–297.
3. Smagin, A.I. Ecology of water bodies in the zone of man-made radioactive anomaly in the Southern Urals. Author's abstract to take a Doctoral degree in Biological Sciences, Perm, 2008. 51 p.
4. Trapeznikov, A.V. Distribution of radionuclides in the major components of Lake Chervyanoye in EURP / A. V. Trapeznikov, P. I. Uyshkov, V. N. Nikolkin [et al.] // Ecology. – 2007. – No. 1. – P. 30–36.
5. Sanitary regulations and standards SanPiN 2.6.1.2523-09 'Radiation Safety Standards NRB-99/2009' (approved by the resolution of the Chief State Medical Officer of the Russian Federation dated July 7, 2009 No. 47).

АЛТАЙ ӨҢІРІНІҢ ОҢТҮСТІК-БАТЫС БӨЛІГІНДЕГІ ЖЕР ҮСТІ СУЛАРЫНЫҢ ЖӘНЕ СУ ОБЪЕКТІЛЕРІНІҢ ТҮПТІК ШӨГІНДІЛЕРІНІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ АХУАЛЫ

О.Ю. Коровина, В.А. Сомин

И.И. Ползунов ат. Алтай мемлекеттік техникалық университеті,
Биотехнология, тамақ және химиялық инженерия институты, Барнаул, Ресей

Алтай өлкесінің оңтүстік-батыс бөлігіндегі жер үсті сулары мен су объектілерінің түптік шөгінділерін экологиялық зерттеу нәтижелері ұсынылған. Үлгілерді іріктеу және олардың аналитикалық зерттеулері 2020–2021 жж. орындалған. Төменгі шөгінділерде табиғи (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) және жасанды радионуклидтердің (^{241}Am, $^{239+240}$Pu, ^{137}Cs және ^{90}Sr) белсенділігі анықталды, жер үсті суларында және ауыр металдардың (мыс, мырыш, қорғасын және кадмий) төменгі шөгінділерінде зерттеулер жүргізілді. Зерттеулер нәтижесінде Алтай өлкесінің оңтүстік-батыс бөлігіндегі су объектілерінің түптік шөгінділерінің радиациялық параметрлері нормативтік деңгейден аспайтындығы анықталды, қазіргі уақытта зерттелетін су объектілерінің суында Семей сынақ полигонының ядролық сынақтар іздерінің қалдықтары табылған жоқ. Төменгі шөгінділердегі ауыр металдардың құрамы нормативтік деңгейге сәйкес келмейді, жер үсті суларының ауыр металдармен ластануы анықталған жоқ.
Түйін сөздер: *жасанды және табиғи радионуклидтер, ауыр металдар, жер үсті су-лары, түп шөгінділері, Алтай аймағының оңтүстік-батыс бөлігі.*

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

О.Ю. Коровина, В.А. Сомин

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
Институт биотехнологии, пищевой и химической инженерии, Барнаул, Россия

Представлены результаты экологических исследований поверхностных вод и донных отложений водных объектов юго-западной части Алтайского края. Отбор образцов и их аналитические исследования выполнены в 2020–2021 гг. В донных отложениях определены активности естественных (^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th) и искусственных радионуклидов (^{241}Am, $^{239+240}$Pu, ^{137}Cs и ^{90}Sr), выполнены исследования содержания в поверхностных водах и донных отложениях тяжелых металлов (меди, цинка, свинца и кадмия). В результате исследований установлено, что радиационные параметры донных отложений водных объектов юго-западной части Алтайского края не превышают нормативного уровня, остатки следов ядерных испытаний Семипалатинского испытательного полигона в воде исследуемых водных объектов в настоящее время не обнаружены. Содержание в донных отложениях тяжелых металлов не соответствует нормативному уровню, загрязнение поверхностных вод тяжелыми металлами не обнаружено.
Ключевые слова: *искусственные и естественные радионуклиды, тяжелые металлы, поверхностные воды, донные отложения, юго-западная часть Алтайского края.*

СПИСОК АВТОРОВ

Korovina O.Yu., 43
Somin V.A., 43
Великанов А.Е., 13
Глущенко Н.В., 36
Данько И.В., 36
Ермаков В.А., 22
Ильиных С.А., 22
Исламов Р.С., 22
Кудранова А.Б., 22
Михайлова Н.Н., 28
Мукан Ж.Т., 36
Наурызбаев Р.Ж., 22
Садыкова А.Б., 3
Середавина Т.А., 36
Соколов А.Н., 28
Соколова И.Н., 28
Сушкова Н.С., 36
Сысалетин А.В., 22
Хачикян Г.Я., 3

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи для публикации в журнале отправляются авторами после регистрации на веб-сайте журнала в электронном виде в формате MS WORD (.docx), а после принятия решения о публикации статьи редакцией (по окончании процесса проверки и рецензирования) – и в виде печатной копии окончательной редакции статьи с согласием авторов на публикацию и их подписями (по почте, курьером и пр. в адрес редакции).

Текст печатается на листах формата А4 (210× 297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (600–2400 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используйте шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов. Пожалуйста, используйте встроенные стили заголовков (Заголовок 1, 2…) только для названия статьи и заголовков подразделов, и не используйте их для обычного текста, таблиц и подрисуночных подписей.

В левом верхнем углу первой страницы должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами, в одном абзаце. После этого печатается текст краткой аннотации на языке статьи (100–3000 символов), и отдельной строкой (после фразы Ключевые слова:) – ключевые слова (5–10). Далее, со следующего абзаца – основной текст, содержащий разделы: Введение, Основную часть и Результаты (возможно, с подразделами), Заключение. После текста статьи приводится список литературы (на языках оригиналов) и блоки «название статьи, аннотация, ключевые слова) на двух оставшихся языках.

Обратите внимание, что ФИО авторов и представляемые организации в статье указывать не нужно, т.к. статьи проходят двойное «слепое» рецензирование. Эту информацию необходимо будет заполнить на трех языках (русском, казахском, английском) в форме на веб-сайте при подаче статьи. Рекомендуем заранее подготовить ее в виде отдельного документа с таблицами по образцу (см. ОБРАЗЕЦ на следующей странице) и приложить к статье.

Для текста статьи используйте одинарный межстрочный интервал, между абзацами не нужно вставлять пустые абзацы и строки.

Не используйте таблицы для расположения иллюстраций и подрисуночных подписей, а также средства рисования MS Word поверх иллюстраций.

Максимально допустимый объем статьи – 10 страниц.

При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- Окончательная редакция статьи, прошедшая рецензирование и допущенная к публикации, должна содержать блоки на трех языках – казахском, английском и русском, с указанием названия статьи, фамилий, имен, отчеств авторов, полного названия организаций, городов и стран местонахождения, которые они представляют, аннотации (объемом 100–3000 символов, включая знаки препинания и пробелы), и ключевых слов (5–10).
- Ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных […] скобках по мере упоминания. Список литературы приводится по ГОСТ 7.1-2003.
- Пожалуйста, не используйте механизм автоматической нумерации (поля) MS Word для нумерации ссылок на литературу, списков, рисунков и таблиц – используйте обычный текст;
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см). Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. Файлы рисунков должны быть представлены отдельно в одном из растровых – .tif, .png (для схем и рисунков с надписями), .jpg (для фото) с разрешением 300 dpi (~1000 px для рисунков шириной 8 см и ~1800 px для рисунков шириной 14 см) или векторных – .svg, .wmf, .emf форматах. Названия файлов должны соответствовать положению в статье (напр. Рисунок 1-a.tiff). Для надписей на рисунках предпочтительно использовать шрифт Arial Narrow или аналогичный (узкий шрифт без засечек).
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как уравнения MS Word или формулы MathType. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.
- Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. Бумажная версии статья должна быть в конце подписана авторами.

К статье прилагаются следующие документы:

1) *Сопроводительное письмо от авторов*, в котором должны содержаться сведения о том, что статья может быть опубликована в открытой печати, ранее не была опубликована, не находится на рассмотрении на предмет публикации в других изданиях, статья не содержит информации, способной привести к конфликту интересов.
2) *Файлы рисунков.*

Название статьи, аннотация, ключевые слова, а также сведения обо всех авторах статьи заполняются на 3-х языках (русском, казахском, английском) в форме на сайте при подаче статьи (эту информацию также желательно приложить к статье в виде отдельного файла – см. ОБРАЗЕЦ на следующей странице).

Дополнительную актуальную информацию по оформлению, подготовке статей, авторским правам, регистрации можно получить на веб-сайте журнала в разделе **Правила для авторов** (https://journals.nnc.kz/jour/about/submissions).

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

ОБРАЗЕЦ

Название статьи (на русском языке)

Таблица 1. Авторы (на русском языке)

Порядковый номер автора статьи	Фамилия	Имя полностью	Отчество полностью (если имеется)	Должность	Ученая степень	Телефон (без скобок, пробелов и дефисов)	Электронная почта	Номера организаций, которые представляет автор (из таблицы 2)
1	Иванов	Иван	Иванович	доцент	PhD	+57771114455	my_mail@mail.ru	1, 2
2	Петров	Петр	Петрович	зав. лаб.	к.ф.-м.н.	+69992223366	my_mail@google.com	1

Таблица 2. Организации (на русском языке)

Порядковый номер организации	Наименование	Полный почтовый адрес (индекс, страна, город, улица, дом)	Официальный веб-сайт (если имеется)
1	Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева	010008, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2	www.enu.kz
2	Астанинский филиал Института ядерной физики МЭ РК	010008, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, пр. Абылай хана, 2/1	www.inp.kz

Название статьи (на казахском языке)

Таблица 1. Авторы (на казахском языке)

Мақала авторының реттік нөмірі	Тегі	Толық аты	Әкесінің толық аты (болса)	Лауазымы	Ғылыми дәрежесі	Телефоны (жақшасыз, бос орынсыз және дефиссіз)	Электрондық поштасы	Автор ұйымдарының нөмірлері (2-кестеден)
1	Иванов	Иван	Иванович	доцент	PhD	+57771114455	my_mail@mail.ru	1, 2
2	Петров	Петр	Петрович	зертхана меңгерушісі	ф.-м.ғ.к.	+69992223366	my_mail@google.com	1

Таблица 2. Организации (на казахском языке)

Ұйымның реттік нөмірі	Атауы	Толық пошталық мекенжайы (индекс, ел, қала, көше, үй)	Ресми веб-сайт (болса)
1	Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті	010008, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ., Сәтпаев көшесі, 2	www.enu.kz
2	ҚР ЭМ Ядролық физика институтының Астана филиалы	010008, Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ., Абылай хан даңғылы, 2/1	www.inp.kz

Название статьи (на английском языке)

Таблица 1. Авторы (на английском языке)

Order number of author's article	Surname	Full Name	Full Middle Name (if any)	Position	Academic degree	Telephone (free of brackets, gaps and hyphens)	E-mail	Numbers of organizations representing by author (from Table 2)
1	Ivanov	Ivan	Ivanovich	Associate professor	PhD	+57771114455	my_mail@mail.ru	1, 2
2	Petrov	Peter	Petrovich	Chief of laboratory	Cand. of Phys. and Math. Sc.	+69992223366	my_mail@google.com	1

Таблица 2. Организации (на английском языке)

Order number of organization	Title	Full post address (zip code, country, city, street, house)	Official web-site (if any)
1	L.N. Eurasian National University	010008, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Satpayev st. 2	www.enu.kz
2	Astana Branch of the Institute of Nuclear Physics ME RK	010008, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, ave. Abylai Khan, 2/1	www.inp.kz

Примечание: если информация отсутствует – оставляйте соответствующие ячейки таблицы пустыми.

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. В.А. Витюк
тел. +7 (722-51) 3-33-35, E-mail: VITYUK@NNC.KZ

Технический редактор И.Г. Перепелкин
тел. +7 (722-51) 3-33-33, E-mail: IGOR@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б
https://journals.nnc.kz/jour

© Редакция журнала «Вестник НЯЦ РК», 2022

Свидетельство о постановке на учет №17039-Ж от 13.04.2018 г.
Выдано Комитетом информации Министерства информации и коммуникаций Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии
Национального ядерного центра Республики Казахстан
071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б

